

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

## **Vliv elektrické vozby na úložná zařízení**

Influence of electric railways on subterranean constructions

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jiří Židek**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Vliv elektrické vozby na úložná zařízení  
Influence of electric railways on subterranean constructions

Zásady pro vypracování:

1. Elektrochemická koroze bludnými proudy
2. Měření protikoroze ochrany
3. Měření ve vybrané lokalitě
4. Vyhodnocení naměřených hodnot

1. Electrochemical Corrosion by Stray Currents
2. Measurement of Anticorrosion Protection
3. Measurement in a Selected Area
4. Evaluation of the Measured Values

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Paleček J., Vybrané kapitoly z problematiky elektrotechniky v dopravním inženýrství, VŠB-TU Ostrava 1996  
[2] Koroze úložných zařízení 95, sborník Košice 28.-29.6.1995  
[3] ČSN EN 50122-2 Drážní zařízení-Pevná trakční zařízení – Část2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami, platná od 2001

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Josef Paleček, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



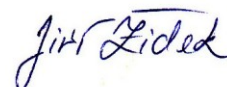
  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

**Prohlášení:**

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 30. 4. 2012

Jiří Židek

**Poděkování:**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Josefu Palečkovi, CSc. a panu Ing. Miroslavu Šimečkovi za cenné rady, odborné vedení, podporující přístup a ukázkou měření v terénu.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá vlivy elektrické vozby na úložná zařízení. Práce je rozdělena do několika částí. V první části diplomové práce jsou popsány základní pojmy elektroenergetiky v dopravě, princip elektrochemické koroze, zemní proudová pole, vliv polarity a mechanismus koroze. Druhá část se zabývá způsoby ochrany úložných zařízení a měřením protikoroze ochrany. V třetí části je popsán vliv bludných proudů na mostní objekty a zpracováno měření na mostním objektu Třinec. V poslední části diplomové práce je zahrnuto vyhodnocení měření a návrh stupně ochranných opatření pro příslušný mostní objekt.

## **Klíčová slova**

Elektrická vozba, elektrická trakce, bludný proud, elektrochemická koroze, zemní proudová pole, ochrana úložných zařízení, protikoroze ochrana, mostní objekt, korozní průzkum.

## **Abstract**

This thesis deals with the influence of electric railways on subterranean constructions. The work is divided into several parts. In the first part of the thesis describes the basic concepts of energy in transport, principle of the electrochemical corrosion, natural current field, influence of polarity and mechanism of corrosion. The second part deals with ways of protecting subterranean constructions and measurement of corrosion protection. In the third parts describes the influence of stray currents on bridges and presents measurements on a bridge in Třinec. In the last part of the thesis includes evaluation of the measurement and design level of protective measures for the respective bridges.

## **Key Words**

Electric railways, electric traction, stray currents, electrochemical corrosion, natural current field, protection of subterranean constructions, corrosion protection, bridge, corrosion survey.

## Seznam některých použitých symbolů a zkratek

aj.	a jiné
APKO	aktivní protikorozi ochrana
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
ČD	České Dráhy
ČR	Česká Republika
ČSN	Česká technická norma
DEM	Dokumentace elektrických a geofyzikálních měření
EN	Evropská norma
MB	měřicí bod
MD	měřicí destička
NK	nosná konstrukce
nn	nízké napětí
NS	napájecí stanice
obr.	obrázek
PKO	protikorozi ochrana
popř.	popřípadě
SS	stejnoseměrná(ý)
ST	střídavá(ý)
TNS	trakční napájecí stanice
tzv.	takzvaný
UP	úložný práh mostu
viz.	odkaz na jiné místo v textu
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
ŽST	železniční stanice

# Obsah

Úvod .....	1
<b>1. Elektrochemická koroze úložných zařízení .....</b>	<b>2</b>
1.1. Základní pojmy elektroenergetiky v dopravě .....	2
1.1.1. Dělení hnacích vozidel s elektrickou trakcí .....	4
1.1.2. Dělení trakční napájecí proudové soustavy .....	4
1.2. Koroze .....	6
1.2.1. Prostá půdní koroze .....	6
1.2.2. Mikrobiální koroze .....	6
1.2.3. Koroze střídavým proudem .....	6
1.2.4. Koroze bludnými proudy .....	7
1.3. Elektrochemická koroze a zemní proudová pole .....	7
1.3.1. Zemní proudová pole .....	7
1.3.2. Zemní proudová pole v okolí elektrických drah .....	8
1.4. Princip elektrochemické koroze, Elektrochemická koroze bludnými proudy a vliv polarizace .....	9
1.4.1. Princip elektrochemické koroze .....	9
1.4.2. Elektrochemická koroze bludnými proudy .....	11
1.4.3. Vliv polarizace na korozi úložných zařízení .....	13
<b>2. Měření protikoroze ochrany .....</b>	<b>16</b>
2.1. Základy a možnosti protikoroze ochrany .....	16
2.1.1. Použití korozně odolných materiálů .....	16
2.1.2. Ochranné povlaky .....	17
2.1.3. Příslušenství potrubí a související objekty .....	17
2.1.4. Úprava koroze prostředí .....	18
2.1.5. Volba trasy a způsobu uložení potrubí .....	18
2.1.6. Elektrochemická ochrana .....	19
2.2. Možnosti omezení vzniku bludných proudů .....	19
2.3. Přehled používaných protikoroze ochran úložných zařízení .....	20
2.3.1. Pasivní ochrana .....	20
2.3.2. Aktivní ochrana .....	21
2.4. Způsoby elektrické protikoroze ochrany úložných zařízení .....	21
2.4.1. Drenáž .....	21
2.4.2. Elektrická polarizovaná drenáž .....	21
2.4.3. Zesílená elektrická polarizovaná drenáž .....	22
2.4.4. Katodická ochrana s úložnou anodou .....	23
2.4.5. Ochrana obětní anodou .....	23
2.5. Metody používané k měření protikoroze ochrany .....	24
2.5.1. Měření zdánlivého měrného odporu půdy .....	24
2.5.2. Měření intenzity a výpočet proudové hustoty zemního proudového pole .....	26
<b>3. Měření ve vybrané lokalitě (mostní objekt – Třinec) .....</b>	<b>28</b>
3.1. Vliv bludných proudů na mostní objekty .....	28
3.2. Postupy při zjišťování ochrany pro omezení účinků bludných proudů .....	29
3.2.1. Podrobný průzkum .....	29
3.2.2. Základní koroze průzkum .....	30
3.2.3. Návrh opatření v průběhu projektových prací .....	30

3.2.4.	Kontrolní měření v průběhu stavby mostu .....	30
3.2.5.	Závěrečná měření po dokončení stavby mostu a doporučení pro provozovatele .....	31
3.3.	Opatření vedoucí ke snížení účinků bludných proudů na mostní objekty.....	31
3.4.	Základní pasivní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty .....	32
3.4.1.	Primární ochrana .....	32
3.4.2.	Sekundární ochrana.....	33
3.4.3.	Konstrukční opatření.....	33
3.5.	Vlastní korozní měření .....	37
3.5.1.	Rozsah korozního měření .....	37
3.5.2.	Základní informace o mostním objektu .....	37
3.5.3.	Konstrukční provedení mostního objektu .....	37
3.5.4.	Protikorozní ochrana mostního objektu .....	38
3.5.5.	Měřicí systém KORODAT-5 .....	38
3.5.6.	Použité metody měření .....	38
3.5.7.	Použité měřicí přístroje .....	39
3.5.8.	Podmínky měření .....	39
3.5.9.	Měření odporová .....	40
3.5.10.	Měření potenciálová .....	41
<b>4.</b>	<b>Vyhodnocení měření .....</b>	<b>53</b>
4.1.	Vyhodnocení odporových měření .....	53
4.2.	Vyhodnocení potenciálových měření .....	53
4.3.	Návrh ochranných opatření .....	53
<b>Závěr</b> .....		<b>55</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>		<b>57</b>

## Úvod

První elektrizovaná trať na našem území v tehdejší ještě Rakousko-Uhersku byla vybudována v roce 1903 z Tábora do Bechyně o délce 20km a napětové hladině 1500 V. Trakční vedení bylo tvořeno dvěma vodiči vedle sebe (každý s napětím 750V), třetím vodičem byla kolej. V roce 1938 byla trať rekonstruována a byl použit jeden trolejový drát (1500 V ss).

V roce 1957 byla dokončena elektrizace trati Praha – Česká Třebová elektrizovaná stejnosměrnou trakční proudovou soustavou 3kV. Tato trať byla základem prvního hlavního tahu u nás. V dnešní době trať vede z Děčína, přes Ústí nad Labem, Prahu, Českou Třebovou, Přerov, Hranice, Ostravu, Bohumín do Mostů u Jablunkova a tvoří elektrizovanou trať na severu republiky o délce 1731 km.

V roce 1961 byla dokončena elektrizace trati Plzeň – Horažďovice předměstí elektrizovaná střídavou trakční proudovou soustavou 25 kV, 50 Hz. Tato trať byla základem druhého hlavního tahu u nás. Dnes trať vede z Chebu, přes Plzeň, České Budějovice, Havlíčkův Brod, do Brna a tvoří elektrizovanou trať na jihu republiky o délce 1307 km.

V nynější době se v České Republice nachází 9492 km tratí a z toho je 3038 km elektrizovaných.

Hlavním problémem tratí elektrizovaných stejnosměrnou (střídavou) trakční proudovou soustavou jsou proudy, vnikající do země nedokonalým izolováním koleje od země, způsobující elektrochemickou korozi úložných zařízení (potrubí, kabelů, mostů, sloupů atd.) v blízkosti těchto elektrizovaných tratí (až desítky kilometrů). Takové proudy nazýváme proudy bludnými (zemními) a mohou dosahovat 50 až 60 % celkového trakčního proudu.

Je tedy nutné v blízkosti elektrizovaných tratí a místech působení zemních proudových polí instalovat vhodná technologická opatření, vedoucí ke snížení zemních proudových polí, tedy snížení vniku proudů z kolejnice do země.

V diplomové práci je rozebrána tato problematika v několika bodech. Jsou zde popsány základní pojmy energetiky v dopravě, princip elektrochemické koroze a vliv zemních proudových polí. Dále opatření a metody vedoucí ke snížení těchto zemních proudových polí a tedy i snížení vlivu elektrochemické koroze na úložná zařízení. Nadále jsou zde popsány metody měření protikorozi ochrany, korozní průzkum a na závěr popsáno a vyhodnoceno korozní měření na vybraném objektu v lokalitě Třinec.



# **1. Elektrochemická koroze úložných zařízení**

## **1.1. Základní pojmy elektroenergetiky v dopravě**

**Elektrická trakce** – pohon hnacího vozidla (silničního i kolejového) elektromotorem (trakčním motorem).

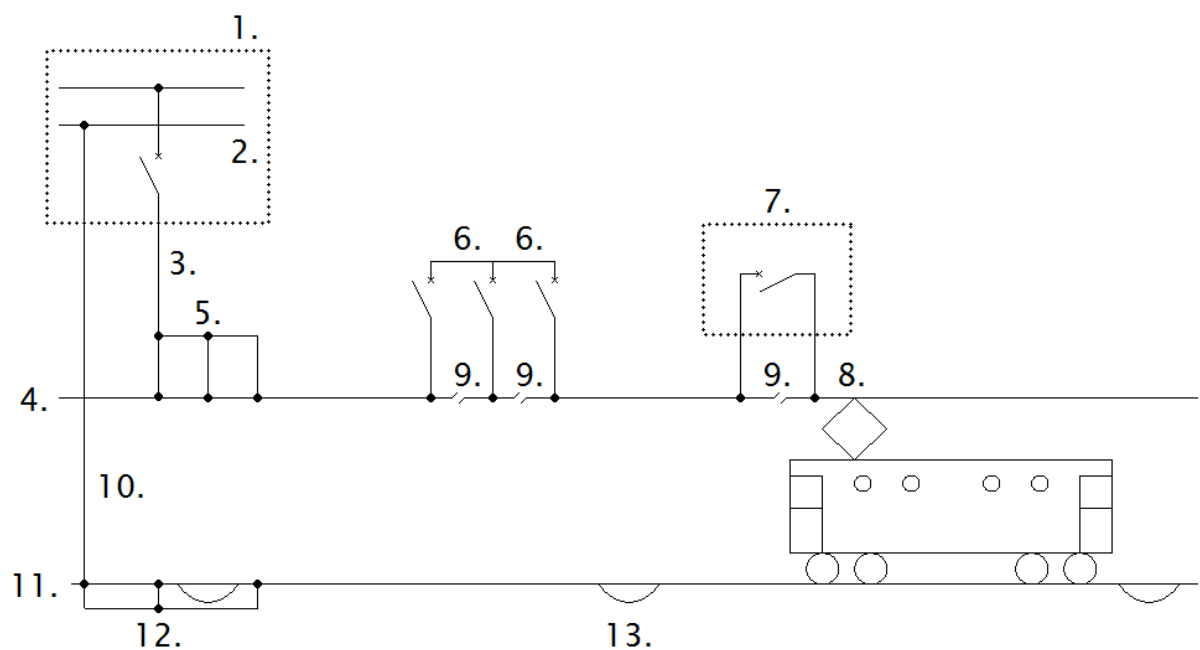
**Elektrická vozba** – provoz vozidel s elektrickou trakcí na elektrizovaných dráhách.  
Na těchto drahách je přívod elektrické energie zprostředkováván trakčním vedením.

**Trakční vedení** – traťové vedení vedoucí proud k elektrickým vozidlům.

**Trolejové vedení** – přívodní trakční vedení, jehož hlavní částí je trolejový drát.

**Trakční napájecí stanice** – zařízení, jehož funkcí je napájet trakční vedení. Jde o zařízení, ve kterém je napětí primární napájecí soustavy, a v některých případech i frekvence, převáděno na frekvenci a napětí v trakčním vedení.

**Spínací stanice** – zařízení, z něhož se elektrická energie rozvádí do různých napájecích úseků, nebo ze kterého mohou být napájené úseky zapínány a vypínány nebo také navzájem propojovány. [1]



- 1) Trakční napájecí stanice
- 2) Přípojnice (sběrnice)
- 3) Napájecí vedení
- 4) Trolejové vedení
- 5) Zesilovací vedení
- 6) Obcházecí vedení
- 7) Spínací stanice
- 8) Přívodní vedení do spínací stanice
- 9) Sjízdňná izolační spojka
- 10) Odváděcí zpětné vedení
- 11) Kolejnicové vedení (kolejnice)
- 12) Pomocné zpětné vedení
- 13) Kolejnicová spojka

Obr. 1. Schéma trakčního obvodu [1]

### 1.1.1. Dělení hnacích vozidel s elektrickou trakcí

#### A) Dle přívodu elektrické energie:

- vozidla s trakcí závislou na přívodu elektrické energie (trolejbus, tramvaj)
- vozidla s trakcí nezávislou na přívodu elektrické energie (dieselektrické vozy)

#### B) Dle jízdní dráhy:

- vozidla s rozchodem normálním (1435mm)
- vozidla úzkorozchodná (600, 750, 900, 1000 – tramvajová dráhy, 1067 mm)
- vozidla širokorozchodná (1520 - Rusko, 1600 – Španělsko a Portugalsko, 1650 mm)

#### C) Dle přenosu trakční síly:

- vozidla adhezní – trakční síla se přenáší pomocí adheze (stoupání do 100 promile)
- vozidla ozubnicová – trakční síla se přenáší přes pastorek umístěný na vozidle, zapadající do hřebenu mezi kolejnicemi (stoupání stovky promile)
- vozidla nekonvenční – zde patří vysokorychlostní vlaky pohybující se po tzv. magnetickém polštáři, známé pod názvem MAGLEV [1]

### 1.1.2. Dělení trakční napájecí proudové soustavy

#### A) SS vozidla trakční proudové soustavy

- 250 V – hlubinné doly
- 600 V – povrchová městská hromadná doprava (tramvaje, trolejbusy)
- 750 V – metro a trolejbusové dráhy
- 1500 V – vedlejší tratě, průmyslové dráhy (především povrchové lomy)
- 3000 V – hlavní dráhy, elektrizace severní části České Republiky
- 6000 V – zkoušeno v Itálii (není normalizováno)

Evropským průkopníkem soustavy 3000 V byla ve 20. letech 20. století Itálie.

Napětí 3000 V prakticky představuje hranici stejnosměrné soustavy, napětí vyšší by bylo obtížně zvládnutelné z hlediska izolačního stavu trakčního obvodu včetně motorů i z hlediska napětí mezi lamelami komutátorů trakčních motorů. Koneckonců i pro moderní polovodičové prvky představuje toto napětí mez, které z hlediska provozní spolehlivosti dosahují jen někteří výrobci. Výhodou tohoto systému je snadná rekuperace, využití rekuperované energie a jednoduchost vozidel. Donedávna k nevýhodám patřila ztrátová (odporová) regulace rozjezdu vozidel. Je zde také omezení přenášeného výkonu limitem proudu, který je tato soustava schopná přenést k vozidlu a pomocí sběrače na vozidlo.

U této soustavy je nutné zabezpečit ochranu kovových prvků v okolí tratě před účinky bludných proudů. Průřez trolejového drátu je větší oproti střídavé soustavě, ale ani tak není schopná přenést srovnatelný výkon.

Jelikož není trolejové vedení dokonalým vodičem, které má nulový odpor, vzniká na trolejovém drátě průchodem proudu úbytek napětí. Z toho důvodu byla zavedena tolerance jmenovitého napětí v rozmezí od 2010 V do 3600 V, což představuje -33 % a +20 % a trakční vozidlo v tomto rozmezí musí spolehlivě fungovat. [1] [2]

**B) ST vozidla průmyslového kmitočtu (50 nebo 60 Hz)**

- 25 kV, 50 Hz – elektrizace jižní části České Republiky
- 2x25 kV
- 50 kV (používané jen zřídka)

Tolerance jmenovitého napětí u střídavé trakční napájecí soustavy je -20 % a +10 %  
Střídavé napájení má nejmenší ztráty způsobené přenosem elektrické energie a dá se snadno transformovat.

**C) Střídavá vozidla napájena z trakční soustavy sníženého kmitočtu**

- 15 kV, 16,7 Hz ( $16\frac{2}{3}$  Hz)

Střídavé napětí o zvláštní frekvenci  $16\frac{2}{3}$  Hz bylo pro napájení kolejových vozidel zavedeno již počátkem 20. století ve Švýcarsku, Německu a Rakousku. Důvody byly technické. Tuto frekvenci je možné stále transformovat za použití běžných transformátorů (transformátor je pouze větší, jelikož je vybaven větším a hmotnějším magnetickým obvodem, který se vyrábí především ze železa) a kromě toho je možné takto nízkou frekvenci přímo použít pro napájení stejnosměrných elektrických motorů bez použití usměrňovače.

Příčinou, proč komutátorový motor komutuje o poznání hůř při střídavém napájení, než při napájení stejnosměrném, je transformační napětí, které se indukuje v kotvě od časově proměnného pole hlavních pólů. Dříve nebylo snadné na lokomotivě převádět střídavý proud na stejnosměrný, byla k tomu zapotřebí rozměrná a těžká rotační soustrojí (motorgenerátory) nebo rtuťové usměrňovače, které ke svému provozu potřebovaly vysoký stupeň vakua a byly mechanicky choulostivé.

Z toho důvodu byl kmitočet střídavého napájecího napětí snížen na jednu třetinu.

V Evropě tedy z obvyklých 50 Hz na  $16\frac{2}{3}$  Hz.

Rozvoj polovodičové techniky mírně modifikoval jmenovitou hodnotu kmitočtu. Poměr 1 : 3, tedy  $16\frac{2}{3}$  Hz : 50 Hz, poplatný době používání rotačních měničů v systému napájení, byl v období elektronických měničů změněn na nesoudělný poměr 16,7 Hz : 50 Hz a to z důvodu zamezení vzniku nežádoucích rezonančních jevů (záznějů) v rozvodné síti. [1] [2]

## 1.2. Koroze

Korozi můžeme obecně definovat jako znehodnocení materiálu, jenž je způsobeno především chemickým nebo fyzikálně chemickým působením prostředí. Ve zvláštních případech pod pojmem koroze lze zahrnout i děje, které jsou způsobené fyzikálním rozpouštěním (např. korozi roztavenými kovy) nebo odpařováním. Koroze způsobuje značné škody. Ztráty představují náklady na protikorozi ochranu a její udržování, na obnovení opravování zařízení předčasně porušených korozí a zvláště na odstranění nepřímých škod. [3]

### 1.2.1. Prostá půdní koroze

Půda se skládá z tuhé plynné a kapalně fáze. Vliv plynné fáze na korozi spočívá v tom, že kyslík v ní obsažený je nejčastějším depolarizátorem a rychlost katodických reakcí je proto přímo závislá na provzdušnění půdy. Korozním prostředím je kapalná fáze, která půdě dává elektrickou vodivost. Voda, která vyplňuje póry a dutiny v půdě, ovlivňuje přístup depolarizátoru ke korodujícímu kovu. Struktura tuhé fáze půdy, spolu s jejím chemickým složením, mohou ovlivnit také anodickou korozní reakci.

Základní příčinou prosté půdní koroze je vznik a činnost korozních článků. Půdní koroze je výsledkem současně probíhajících elektrodových reakcí mnoha makročlánků a mikročlánků. Velikost korozních úbytků materiálu je úměrná součtu proudů všech korozních článků, existujících na povrchu kovu. [3]

### 1.2.2. Mikrobiální koroze

Mikroorganismy jsou obsaženy ve všech druzích půd. K přímému ovlivnění elektrodových procesů dochází např. u bakterií redukujících sírany na sulfidy. Taková redukce umožňuje katodickou depolarizaci i za nepřítomnosti kyslíku. Obdobně mohou působit i bakterie které redukují oxid uhličitý na metan nebo také denitrifikační bakterie, jež redukují dusičnany na dusitany nebo až na amoniak. Činností sirných oxidačních baktérií, které mohou síru oxidovat až na 10% kyselinu sírovou, dochází ke zvyšování agresivity půdního prostředí. Tato koroze postupuje velmi rychle, korozní rychlost byla pozorována i vyšší než 1 mm/rok. [3]

### 1.2.3. Koroze střídavým proudem

Problematika koroze střídavými indukovanými proudy není dosud dostatečně vyřešena a rovněž nejsou k dispozici jednoznačná kritéria ochrany. Spolehlivě můžeme zjistit, zda jde o napadení potrubí střídavým proudem, jen odkrytím vytypovaného místa. Za rizikové je nutné pokládat souběhy potrubí s vedením vvn a zvn, případně s železnicí, elektrizovanou střídavým napětím. Nebezpečná jsou místa

s plošně malým poškozením izolace, zejména PE izolace. Vedle možnosti koroze je nutné vyloučit i možnost dosažení nebezpečného dotykového napětí. [3]

#### **1.2.4. Koroze bludnými proudy**

Při této korozi je elektrochemické rozpouštění kovu vyvoláno nebo urychleno elektrickým proudem z jiného zdroje než z korozních článků na korodujícím kovovém zařízení. Nejčastějším zdrojem bludných proudů je stejnosměrná elektrická kolejová trakce. Více informací viz. kapitola 1.4. Elektrochemická koroze, její princip, bludné proudy a vliv polarity. [3]

### **1.3. Elektrochemická koroze a zemní proudová pole**

#### **1.3.1. Zemní proudová pole**

Zemní proudová pole způsobují korozi na úložných kovových zařízeních (např. kovového potrubí). Proudová pole vznikají z více příčin. Mohou vznikat přirozenou cestou, ale také mohou být vytvářena uměle.

##### **Přirozená zemní proudová pole**

Elektrické pole v zemi je výsledkem skládání regionálních elektrických polí (elektrotelurické pole), která zabírají celý povrch Země nebo jeho podstatné části a dále z lokálních elektrických polí, která se rozprostírají na docela malém úseku zemského povrchu. Důsledkem regionálních polí jsou elektrické proudy v zemi (půdě).

V půdě se tedy setkáváme s proudy přirozenými, nazýváme je zemskými nebo také telurickými proudy. Tyto proudy vznikají samovolně elektrochemickou aktivitou hornin (např. ložiska kovových rud, grafitu, kamenného uhlí, pyritu). Jedná se o galvanické články, které vznikají oxidací ložisek kovových rud. Takové proudy jsou slabé a jejich šíření málokdy překračuje několik stovek metrů. Intenzita pole těchto článků může být  $10 \text{ mV} \cdot \text{m}^{-1}$ , což v půdě o měrném odporu  $100 \Omega \cdot \text{m}$  představuje proudovou hustotu  $0,1 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Významnější proudy jsou způsobovány indukčními jevy v zemském magnetickém poli. Magnetické pole Země je tvarem podobné magnetickému poli homogenně zmagnetizované koule, jejíž osa svírá s osou Země  $11,5^\circ$ . Magnetické pole Země je charakterizováno v každém bodě velikostí a směrem totálního vektoru magnetické intenzity. Magnetické pole Země můžeme rozdělit podle původu na:

- **Vnitřní** (permanentní) geomagnetické pole, které podléhá pomalým změnám – sekulárním variacím (dlouhodobé změny magnetického pole, které jsou nepochybně způsobeny hydrodynamickými pohyby v nitru země), a jejichž příčiny leží uvnitř zemského tělesa.

- **Vnější** (proměnné) geomagnetické pole (zálivové poruchy, pulsace, bouře), kvantitativně několik málo procent velikosti permanentního pole, jehož příčiny jsou vně zemského tělesa (elektrické proudy ve vysokých atmosférických vrstvách a dále).

### **Umělá zemní proudová pole**

Umělá zemní proudová pole a jejich vznik je úzce spjat se vznikem bludných proudů.

Bludnými proudy jsou proudy, které se do půdy dostávají vlivem nedostatečně izolovaného vodiče od země nebo ze zařízení, jež užívají zem jako zpětný vodič.

Tyto bludné proudy vytvářejí zemní proudová pole, která z hlediska vzniku elektrochemické koroze úložných zařízení jsou nejnebezpečnější. Stejnosměrné proudy tečou trasou nejmenšího odporu a podle vodivosti zeminy se roztékají do velkých vzdáleností (stovky metrů až kilometry) od vedení, kterým měly původně téci. Čím je vodivost půdy menší, tím větší teritorium zasahují. Naopak při dobré vodivosti půdy je jejich rozptyl menší. Bludnými proudy je nazýváme proto, že není možné jejich tok přesněji stanovit.

U zařízení užívajících střídavý proud je situace odlišnější. Existuje zde elektromagnetická vazba mezi vrchním vedením (nadzemním) a proudy, které tečou zemí. To znamená, že proud v zemi zhruba kopíruje trasu vedení nadzemního. Pro tyto proudy se používá v literatuře termín střídavé bludné proudy.

### **Nejčastějšími zdroji stejnosměrných bludných proudů jsou:**

- Stejnosměrné elektrizované železnice, městské dráhy, metro, využívající kolejnic jako zpětných vodičů trakčního proudu, které jsou nedostatečně izolované od země (zvláště tam, kde je přechodový odpor mezi kolejí a zemí menší než předepsaný  $r_p = 0,5 \Omega \cdot \text{km}$ ).
- Stejnosměrné rozvody v průmyslových podnicích, kde se pracuje s elektrickými svářecími agregáty.
- Zařízení užívaná k aktivní ochraně proti korozi (zdroje vnějšího stejnosměrného proudu katodické ochrany, elektrické drenáže a saturáže – jedná se o interferenční proudy pro podzemní zařízení nepřipojená na společnou ochranu). I z tohoto hlediska je nutné projektovat aktivní ochranu komplexně, tudíž pro všechna úložná zařízení v dané oblasti společně. [4]

### **1.3.2. Zemní proudová pole v okolí elektrických drah**

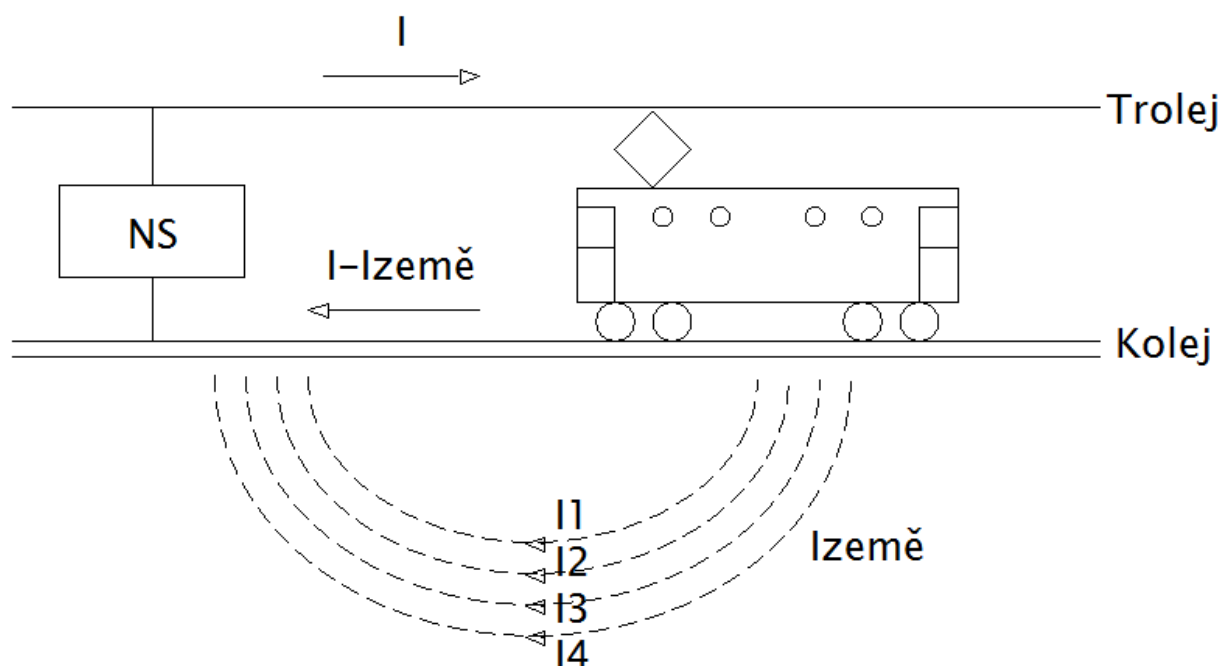
Železniční spodek je typickým elektrolytickým prostředím, které obsahuje různé chemické prvky a sloučeniny. Ty mohou být jak v pevném tak i kapalném skupenství. Představuje masivní, ve většině případů nehomogenní vodič druhého řádu s iontovou vodivostí. Proud začne protékat mezi libovolnými body železničního svršku i spodku jakmile mezi nimi vznikne potenciálový rozdíl vybuzený jakýmkoliv zdrojem. Proud teče, nikoliv po nejkratší spojnici bodů, ale roztéká se do široké oblasti v závislosti na materiálových parametrech prostředí. Tyto proudy tečou v závislosti na

vodivosti země často daleko od trati. Proto je mnohdy velmi obtížné identifikovat, zda je zdrojem těchto proudů elektrifikovaná trať nebo jiné zdroje. Jsou zaznamenány i takové případy, že proud vlivem železných konstrukcí v zemi tekl i desítky kilometrů od tratě.

Na Obr. 2 můžeme vidět proudové čáry mezi napájecí stanicí (NS) a trakčním vozidlem.

Jestliže je půda obecně homogenní, platí, že čím je půda vodivější, tím je vzdálenost šíření bludných proudů menší. V praxi je předpoklad homogenity důležitý pro vytváření modelů, ale ve většině případů je vždy narušen geologickým rozvrstvením zeminy a kovovými předměty (špatně izolované potrubí, podzemní kabely apod.), na kterých je stejný potenciál do značných vzdáleností od zdroje.

[4]



Obr. 2. Proudové siločáry mezi napájecí stanicí a trakčním vozidlem

## 1.4. Princip elektrochemické koroze, Elektrochemická koroze bludnými proudy a vliv polarity

### 1.4.1. Princip elektrochemické koroze

Koroze, tzv. rozrušování kovů – je přirozeným jevem působení okolního prostředí. Jde o proces, kterým se kovy snaží přejít do stavu, v jakém se vyskytují v přírodě. To znamená ve své sloučeniny, kyslíčníky, sirníky, uhličitany apod.

Technicky čisté kovy získáváme hutnickými metodami z rud. Těmito redukčními pochody porušujeme původní rovnovážný stav. Kovy se převádějí do stavu vhodného pro techniku, ale zároveň méně stabilního stavu. Při styku s okolním prostředím mají čisté kovy snahu obnovit svůj rovnovážný stav a vytvořit sloučeniny stabilnější, jež jsou technicky nepoužitelné.



Do sloučenin přecházejí kovy elektrochemickým nebo chemickým procesem. Podle fyzikálně – chemické povahy rozeznáváme chemickou a elektrochemickou korozi. Rozdíl mezi těmito korozemi je určen růzností některých faktorů, ale vždy jde o tvoření sloučenin různých prvků při současném přemísťování elektrických nábojů elektrony a ionty. Koroze je elektrochemickým procesem, tedy chemickou reakcí mezi kovem a jeho prostředím, která je podmíněna protékajícím elektrickým proudem.

Korozní reakce je elektrická v tom smyslu, že v hraniční vrstvě vzniká elektrický potenciální gradient a přenos elektronů se děje podle Faradayova zákona. Faradayův zákon popisuje závislost látky vyloučené na prošlém náboji, neboli na proudu. Hmotnosti těchto vyloučených látek na elektrodách jsou přímo úměrné elektrickému náboji, který ionty přenesly při elektrolýze.

$$m = A \cdot Q = A \cdot I_e \cdot t \quad (\text{kg}; \text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \text{C}, \text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \text{A}, \text{s}) \quad (1.1)$$

kde:

m	množství vyloučeného kovu,
Q	celkový náboj iontu
$I_e$	proud elektrolytického jevu
t	doba trvání elektrolytického jevu
A	elektrochemický ekvivalent kovu

Elektrochemické ekvivalenty některých prvků jsou uvedeny v Tab. 1

Tab. 1. Elektrochemické ekvivalenty vybraných kovů

Kov	Sn	Al	Cu	Pb	Fe
$A (\text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot 10^{-9}$	338,6	93,3	332,3	1073,3	289,3

Pro ilustraci je zde uveden výpočet ztráty kovu způsobené elektrochemickou korozí při protékání stejnosměrného proudu 1 A po dobu jednoho roku pro olovo:

$$m = 1073,3 \times 10^{-9} \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 = 33,85 \text{ kg}$$

Z tabulky elektrochemických ekvivalentů a informativního výpočtu je patrné, že olovo je z hlediska elektrolytických pochodů vzhledem ke svému vysokému elektrochemickému ekvivalentu nevýhodným materiálem.

Pokud se týká daného výpočtu, poskytuje nám jen přibližnou orientaci. Důvod je v tom, že ve skutečnosti existuje dominantní vliv určitých faktorů, který se projevuje při různých podmínkách interakce kovu s prostředím nejen různou rychlostí koroze, ale také rozdílnými druhy korozního napadení (rovnoměrné napadení, bodové napadení atd.). Bodové napadení je pro kabely a potrubí přirozeně zvláště škodlivé.

Ke korozi dochází za velmi různých podmínek a podle charakteru korozního děje rozeznáváme různé druhy koroze. Pro klasifikaci koroze je základem, zda anodické a katodické oblasti jsou přilehlé či oddělené nebo zda je mezi katodickou a anodickou oblastí vyměřovaný proud měřitelný běžnými měřicími přístroji či nikoliv. Různý druh koroze má charakteristické různé typy korozních článků. Korozní článek vzniká při styku dvou různých kovů v elektrolytu (galvanický článek) nebo následkem koncentrace (koncentrační článek). Vytváří se i vlivem odlišných fyzikálních vlastností kovu, jako krystalické struktury a chemické modifikace (místní článek). Rozdíl potenciálů může vzniknout mezi mechanicky napjatou nebo nenapjatou částí stejného kovu, ale také mezi odlišně provzdušňovanými částmi povrchu stejného kovu (aerační článek). Dále může ke korozi docházet vlivem telurických proudů (geologický článek) nebo také vlivem účinků bakterií. V neposlední řadě nesmíme opomenout účinky bludných proudů, jež mají svůj zdroj vně napadeného úložného zařízení a způsobují korozi bludnými proudy. [5] [6] [7]

#### **1.4.2. Elektrochemická koroze bludnými proudy**

Jestliže vezmeme v potaz síť našich tratí, jež jsou elektrizované stejnosměrnou trakční proudovou soustavou, můžeme říci, že tato síť zasahuje do poloviny naší republiky. A to nesmíme zapomenout na tramvajové dráhy a metro. K elektrochemické korozi dochází tehdy, jestliže je kovové zařízení uloženo v zemi, nachází se v proudovém poli a není účinně chráněno. Se vzdáleností od zdrojů proudových polí se intenzita koroze zmenšuje.

V dnešní době se používají napájecí systémy kolejových drah jednovodičového přívodu elektrického proudu z trakčních napájecích stanic do hnacích vozidel a jeho obvodu jízdními kolejnicemi zpět. Toto uspořádání, s menšími modifikacemi u vysokorychlostních tratí, se dnes používá prakticky na všech elektrických dráhách.

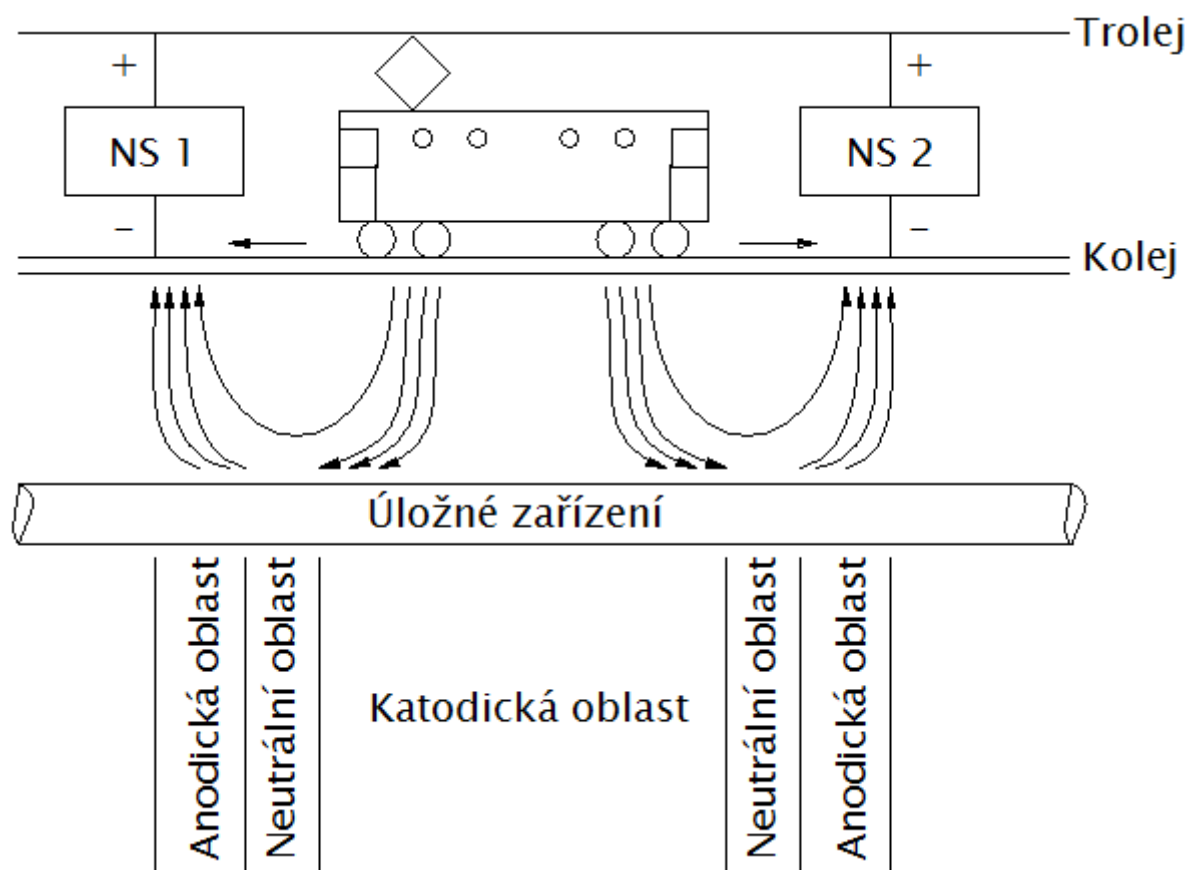
U tratí Českých drah je na trolejový drát přiveden kladný potenciál stejnosměrného proudu a na kolej přiveden potenciál záporný. Přes trolej, sběrač a lokomotivu se uzavírá stejnosměrný proud a prostřednictvím kolejí se vrací zpátky do napájecí stanice.

Jelikož jsou kolejnice přichyceny na pražcích a šterkové loži, není izolace kolejnic od půdy dokonalá. Je ale zapotřebí zmínit, že tato nedokonalost je současně také nutností, neboť průtokem proudu kolejnicí se zamezuje vytvoření příliš velkého spádu napětí mezi kolejnicí a zemí, což by mohlo být nebezpečné pro uživatele (cestující). Část zpětného proudu tedy vniká do země a dosahuje poměrně velkých hodnot. Dle čistoty šterkové lože a vzdálenosti paty kolejnice od kolejové lože, činí tato část 15-60 % celkového proudu. Trakční měnič mají výkony od 5 do 10 MW a napětí 3 kV. Při těchto parametrech dosahují v trakčním vedení proudy 1500 až 3000 A. Část zpětného proudu vnikající do země dosahuje hodnot 500 až 2000 A.

Rozdělení proudu mezi kolejnice a zem se řídí Kirchhoffovými zákony. Při značných délkách kolejnic (při jednostranném napájení až 20 km) více či méně vodivě spojených se zemí může trakční proud způsobit velký úbytek napětí odporem kolejí, který vůči úbytku na odporu přechodu kolej – země není zanedbatelný. Půda vytváří kolejím bočník, jímž teče proud, který je dán Kirchhoffovými

zákony. Jsou-li v zemi uloženy rozměrnější vodivé předměty, mohou vzhledem ke své dobré podélné elektrické vodivosti shromažďovat bludné proudy z okolí a vést je do velmi vzdálených míst, i když nejsou přímo spojené s kolejemi. Tyto předměty, které jsou elektricky vodivé, mohou být například kovová potrubí, kovové pláště kabelů a také souvislé zdroje podzemní vody. Vodivé předměty vytváří společně s kolejemi navzájem křížící se síť, které vytváří velký počet spojení mezi zemí a sítěmi. Elektrický proud, který má zpětně téct do měřírny, se mimo koleje vrací také půdou a podzemním vedením. Na jeho cestě zpět do trakční měřírny může vznikat velké množství anodických a katodických oblastí.

Na Obr. 3 je znázorněn přechod proudu z kolejnice do země a poté do úložného zařízení. Stejnosměrný proud, tekoucí zemí se uzavírá cestou nejmenšího odporu a prochází půdami s malými měrnými odpory. Jestliže se v půdě nachází nedokonalě izolované kovové zařízení (potrubí, kabel, nádrž, apod.), je proud tímto zařízením veden a vystupuje v blízkosti napájecí stanice do země.



Obr. 3. Schéma obvodu trakčního proudu u stejnosměrné trakční proudové soustavy

Na kovových úložných zařízeních se vytvářejí tři potenciálové oblasti:

**Katodická oblast** – v místech, kde bludné proudy vstupují do úložného zařízení z půdy, z hlediska elektrochemické koroze není tato oblast nebezpečná, ale vlivem vzniku vodíku na anodě dochází ke křehnutí materiálu a tím ke zmenšení jeho pevnosti (zvlášť nebezpečné u plynovodů).

**Neutrální oblast** – v místech, kde bludné proudy jen protékají úložným zařízením.

Tato oblast není taktéž ohrožena elektrochemickou korozí.

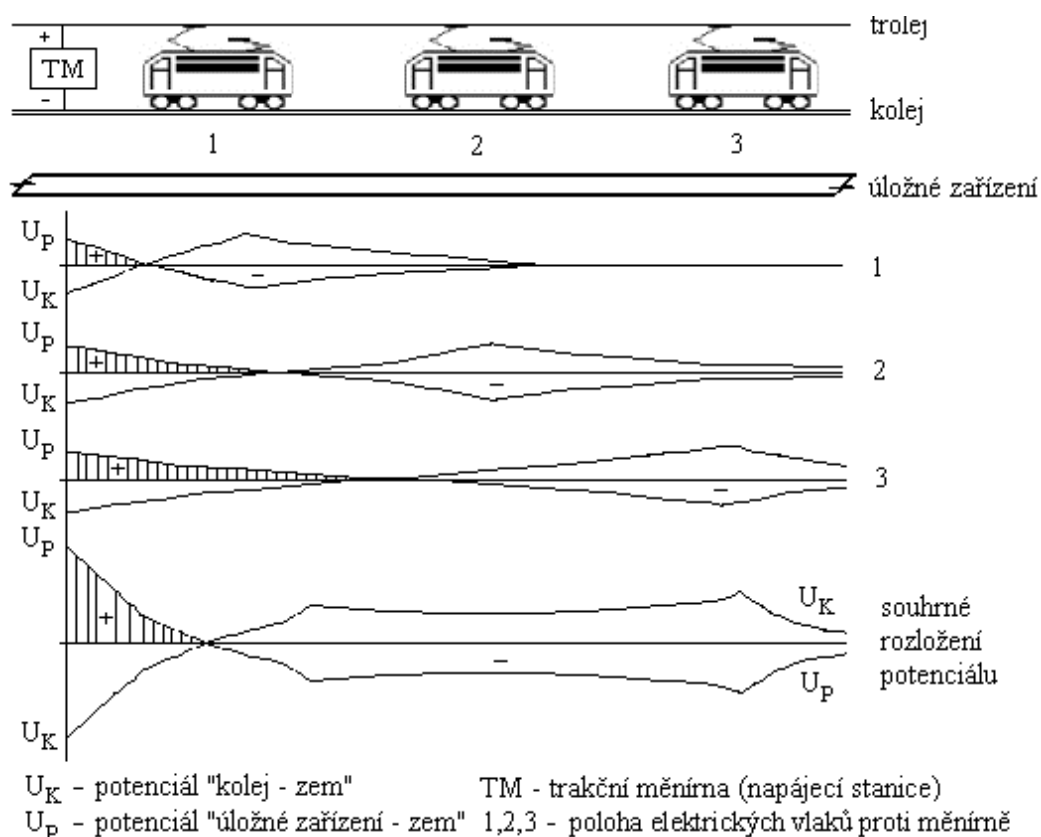
**Anodická oblast** – v místech, kde bludné proudy vystupují z úložného zařízení do půdy.

Tato oblast je z hlediska elektrochemické koroze velmi nebezpečná a je nejvíce sledována měřením.

V této oblasti dochází k elektrolytickému rozpouštění kovů, které se projevuje bodovým proděravěním kovu, přičemž v místě poruchy je kov čistý, bez rzi. Množství vyloučeného kovu je dáno Faradayovým zákonem. [8]

### 1.4.3. Vliv polarity na korozi úložných zařízení

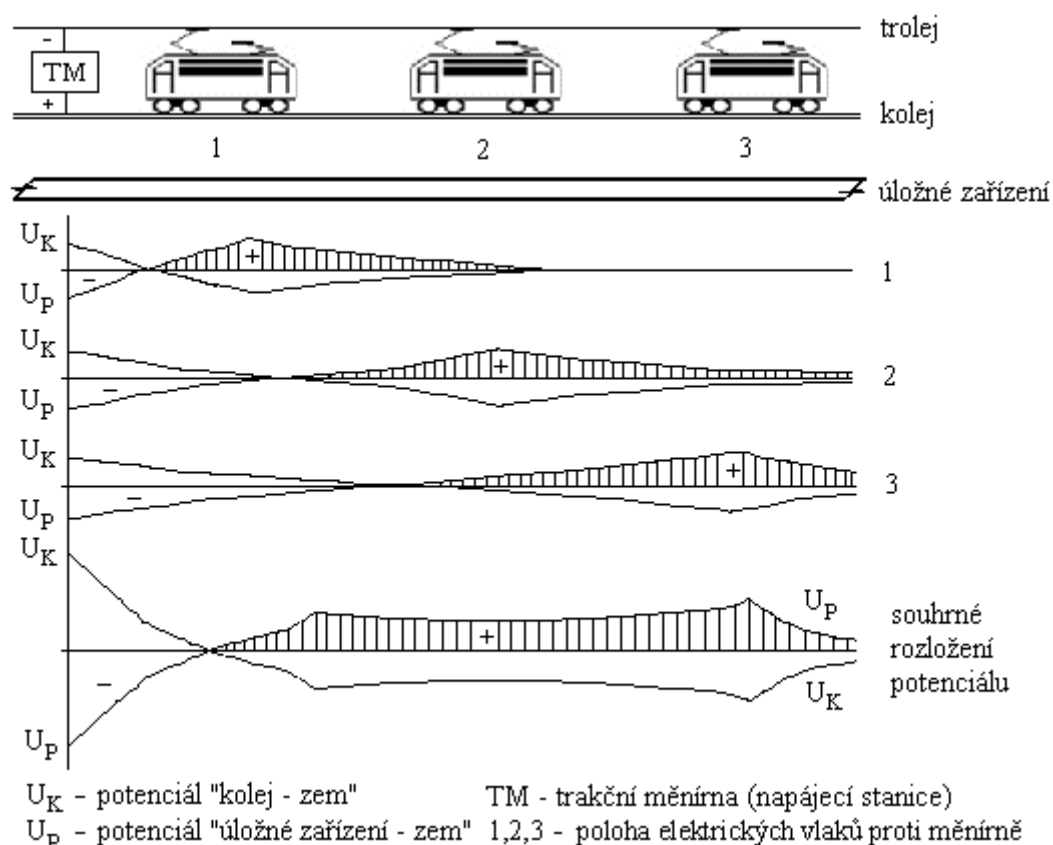
Klíčový je vliv polarity rozvodu trakčního proudu na místo a velikost korozních oblastí. Když je v troleji kladná polarita, nalézá se katodická oblast negativního potenciálu kabelového pláště (oblast, kde proud vstupuje do pláště) uprostřed mezi napájecími body a anodická oblast (oblast, kde proud vystupuje) se nachází poblíž napájecích bodů. Při obrácené polaritě, tzn. záporná polarita v trolejovém vedení, bude výstup proudu a tedy korozně ohrožená anodická oblast uprostřed mezi napájecími body. Vstup proudů do kabelového pláště bude v napájecích místech nejsilnější.



Obr. 4. Průběh potenciálu „kolej – zem“ a „úložné zařízení – zem“ při jízdě vlaků a záporné polaritě kolejí

Průběhy potenciálů a proudů na kolejích a kabelových pláštích, vypočítané za zjednodušených předpokladů, jsou vyznačeny na obr. 3 a obr. 4. Na nich je patrná souvislost mezi rozložením potenciálových oblastí a polaritou kolejnic. U železnic a většiny městské dopravy má kladnou polaritu trolej, v některých městech ČR je tomu obráceně (Ostrava, Brno aj.).

Ze schématu s kladnou polaritou kolejí - obr. 3 je patrné, že maximální negativní potenciál na kolejích vzniká v bodě 3, který odpovídá krajní poloze zatížení. Případné drenážní zařízení připojené k tomuto bodu kolejové sítě bude dostávat periodicky maximální hodnoty negativního potenciálu.



Obr. 5. Průběh potenciálu „kolej – zem“ a „úložné zařízení – zem“ při jízdě vlaků a záporné polaritě kolejí

Ze srovnání diagramů při obou způsobech napájení trakční sítě vyplývá, že při kladné polaritě trolejového vedení je katodická zóna rozložena ve větší části podzemního zařízení, kdežto při záporné polaritě trolejového vedení je rozložena na menší části (vyšrafovaná oblast na obrázku).

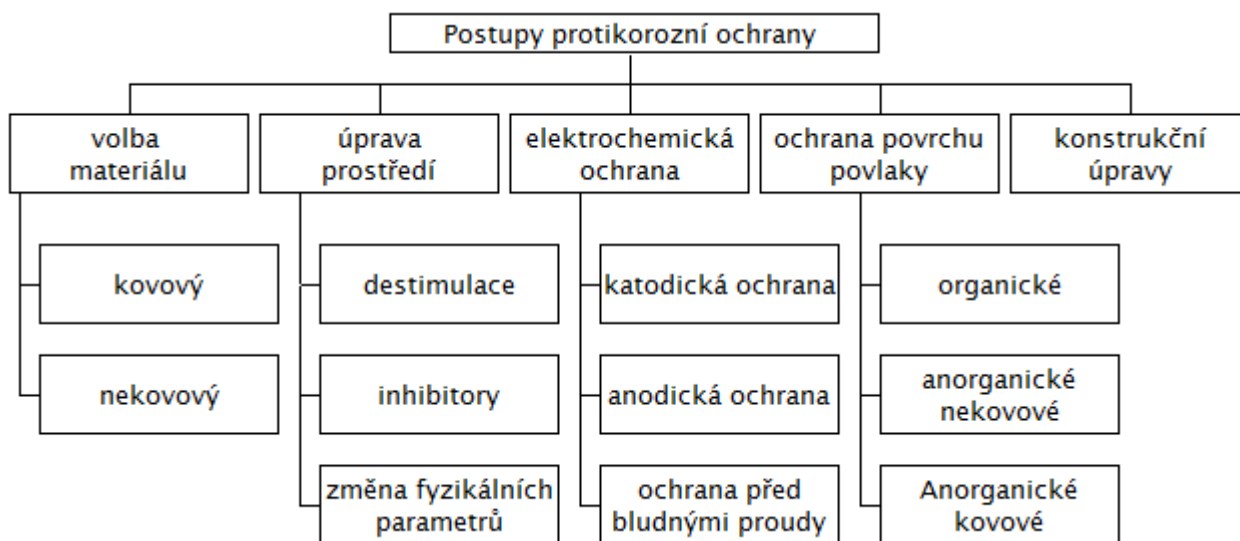
Z rozboru vlivu polarity trakčního vedení na korozi úložných zařízení vyplývá:

Při kladné polaritě trolejového vedení je katodická oblast na podzemních kovových zařízeních rozložena na větší části úseku. Výkyvy potřebného ochranného potenciálu při kladné polaritě trolejového vedení jsou menší. Kladná polarita trolejového vedení umožňuje využít výhodného přirozeného potenciálu na části úložného zařízení vzdáleného od napájecí stanice, a jednak udává dobré podmínky pro použití drenážní ochrany úložných kovových zařízení.

Někdy se doporučuje připojení kolejí na kladný pól napájecích stanic. Je to při řídkém provozu vlaků, kdy se periodicky mění polarita zatížení uloženého v zemi, čímž se do určité míry zpomalují korozní účinky. Toto zapojení však ztěžuje aplikaci ochranných opatření proti korozi bludnými proudy.

Na hlavních železničních tratích je výhodnější připojit koleje na záporný pól napájecích stanic. Tohoto způsobu zapojení trakční sítě je také použito na elektrizovaných tratích ČD. [9] [10] [11]

## 2. Měření protikorozní ochrany



Obr. 6. Postupy protikorozní ochrany

### 2.1. Základy a možnosti protikorozní ochrany

Cílem protikorozní ochrany (PKO) je minimalizovat ekonomické i ekologické ztráty vyvolávané korozí. Protikorozní ochrana je samozřejmě i opatřením pro zvýšení bezpečnosti provozu potrubí, což je důležité zvláště u potrubí přepravujících plyn.

Základem protikorozní ochrany je aplikovat kvalitní izolace potrubí v kombinaci s katodickou ochranou. Toto spojení slouží k co možná nejdokonalejšímu oddělení potrubí od okolního prostředí a k elektrochemické ochraně míst, kde je poškozená izolace. Škodlivé korozní projevy je možné eliminovat i jinými opatřeními. Už ve stádiu přípravy stavby úložného zařízení je možné korozní stav ovlivnit volbou vhodného materiálu, který nepodléhá korozi. Úpravou způsobu uložení a vedení trasy potrubí je možno zmírnit vliv agresivního prostředí v některých lokalitách. Důležitý je také výběr příslušenství potrubí a realizace souvisejících objektů, které mohou při nesprávném uspořádání životnost potrubí naopak snížit. [9]

#### 2.1.1. Použití korozně odolných materiálů

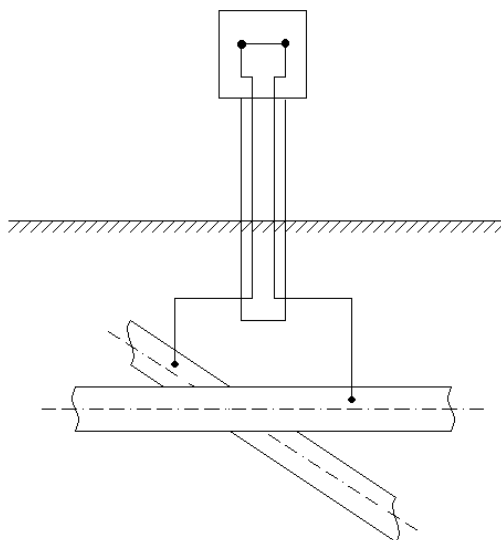
Z hlediska koroze je vhodný výběr materiálu potrubí, který není korozí napadán. V posledních letech se například pro rozvod plynu využívá potrubí z polyetylénu. Jeho možnosti použití jsou však omezeny potřebnou dimenzí a příslušným tlakem. Pro potrubí s vyššími tlaky a světlostmi není doposud jiná možnost, než použití potrubí ocelových. [9]

### 2.1.2. Ochranné povlaky

Povrch úložných zařízení kovových je opatřován izolacemi. Pro polarizaci na shodnou hodnotu potenciálu je potřebná průměrná proudová hustota při použití významně menší izolace. [9]

### 2.1.3. Příslušenství potrubí a související objekty

Pro potřeby sledování korozní situace potrubí jsou na potrubí umístěna měřicí a kontrolní místa. Podle účelu, ke kterému jsou užívána, se jejich konstrukce liší. Kontrolní měřicí vývod je určen pro měření hodnoty potenciálu potrubí / půda. Propojovací objekt (obr. 7) slouží k propojení dvou a více odlišných zařízení. Používá se také pro měření potenciálu, umožňuje odstranění interference, může být opatřen i odporem pro regulaci velikosti procházejícího proudu. Propojovací objekty se aplikují také u izolačních spojů a chrániček. Všechny druhy těchto objektů se používají v zemním i nadzemním provedení.



Obr. 7. Schéma propojovacího objektu

Chráničky (trubky z oceli o větší světlosti) slouží k mechanické ochraně potrubí při křížení s tratí a s komunikacemi. Významné je vystředění chráněného potrubí v chráničce, zabraňující kontaktu chráničky s potrubím a utěsnění čel chráničky, které eliminuje průsak vody do vnitřního prostoru. Galvanický kontakt potrubí s chráničkou má špatný vliv na stav potrubí, protože dochází nejen ke snižování dosahu katodické ochrany, ale také zapříčiňuje korozi potrubí v chráničce.

Praktické poznatky ukazují, že počet chrániček zatopených vodou je poměrně vysoký, proto se v některých případech chránička nepoužívá a namísto toho je mechanická odolnost potrubí v místě podchodu potrubí pod komunikací zvýšena použitím trubky (nebo i delšího úseku potrubí) se silnější stěnou.

Izolační spoj slouží k vzájemnému elektrickému oddělení dvou částí potrubí. Úmyslně se jimi zvyšuje podélný odpor potrubí, můžeme je tedy úspěšně používat jak v oblastech bludných proudů,



ke snižování jejich vlivu na potrubí, tak rovněž v místech, kde lze předpokládat nepříznivé působení interference. Umístění izolačních spojů je nutné specifikovat na základě pečlivého rozboru místních podmínek, neboť jejich nevhodné umístění situaci naopak zhoršuje. S výhodou jsou však používány v místech, kde se potrubí křížuje se stejnosměrnou elektrizovanou tratí. Armatury a tvarovky představují z hlediska protikoroze problematičtější prvky, protože především u starších potrubí nebyl vždy plně respektován oprávněný požadavek jejich kvalitní izolace. Armatury, které nejsou opatřeny izolací, snižují výrazným způsobem dosah aktivní ochrany a v oblastech s přítomností bludných proudů se mohou stát místem vstupu proudu do potrubí. V dnešní době je již pro izolování armatur k dispozici řada vhodných izolačních materiálů. [9]

#### **2.1.4. Úprava korozního prostředí**

Normy doporučují také úpravy prostředí, která obklopují potrubí např. použitím vhodných zásypových materiálů nebo jejich úpravou, eventuálně i odvodněním tras potrubí. Zásypové materiály se používají poměrně běžně, inhibiční účinek na elektrochemické korozní pochody vykazují např. popílky z elektrofiltrů. Zásyp mletým vápencem má tlumivý účinek pro mikrobiální korozi.

Používá se také slévárenský písek, odpady ze stavebních výrob, vápenaté materiály apod.

Použitelnost těchto materiálů musí být odzkoušena, protože bez ověření jejich neagresivnosti mohou naopak korozní situaci zhoršit. Absolutně nevyhovující zásypy jsou popely s obsahem nedopalu (uhlík), škvára (síra a uhlík) a samozřejmě i rašelina (pH). Výroba nebo úprava syntetických zásypů je ekonomicky i technicky náročná.

Úpravy zásypů, které vyhovují po stránce korozní, řešené zpravidla přidáním inhibičních látek, většinou nevyhovují po stránce hygienické nebo ekologické. Problematické je odvodnění trasy potrubí, protože výkop, do kterého se potrubí ukládá, působí jako drenáž a naopak stahuje vodu z okolí. [9]

#### **2.1.5. Volba trasy a způsobu uložení potrubí.**

Volba trasy potrubí rozhodujícím způsobem může ovlivnit účinnost protikoroze ochrany budoucího potrubí. Při výběru variant trasy potrubí je nutné respektovat řadu požadavků.

Trasu vést tak, aby při poškození potrubí byly škody minimální nejen z hlediska blízkosti zástavby, ale i z hlediska ekologie apod. Při výběru je účelné vyhýbat se pásmům korozně nebezpečným z hlediska nepříznivého geologického a chemického složení půdy a agresivity vod.

Je žádoucí minimalizovat možný vliv bludných proudů a interference. Vhodnou volbou trasy potrubí může být nejen jeho vedení mimo oblasti bludných proudů, ale naopak i řešení, kdy je potrubí vedeno poblíž zdroje bludných proudů a jejich vliv je eliminován drenáží.

Agresivitu prostředí můžeme v některých případech částečně eliminovat nadzemním vedením trasy potrubí nebo uložením potrubí do kolektorů. [9]

### 2.1.6. Elektrochemická ochrana

Obecně lze aktivní, elektrochemické ochrany označit jako metody, které vycházejí z faktu, že všechny korozní pochody jsou vyvolávány elektrochemickými reakcemi, které probíhají na povrchu kovu, a že je tedy možné je dalšími elektrochemickými reakcemi ovlivňovat. Podle polarizace elektrochemické ochrany rozlišujeme ochranu anodickou a katodickou. Označení vychází z toho, že při anodické ochraně je chráněné zařízení zapojeno jako anoda a při katodické ochraně je naopak katodou. Zatímco anodická ochrana je určena pro vnitřní povrchy zařízení v některých chemických a jiných provozech, které umožňují svým charakterem její aplikaci, katodická ochrana se používá pro ochranu vnějších povrchů zařízení uložených v zemi. [9]

## 2.2. Možnosti omezení vzniku bludných proudů

Aby došlo ke snížení unikajícího proudu z elektrizovaných drah, existují různá preventivní opatření:

### 1) Zvýšení přechodového odporu mezi kolejemi a zemí

Dle normy ČSN EN 50122-2 musí být hodnota měrné svodové vodivosti  $G$  pro jednokolejnou širou trať  $0,5 \text{ S.km}^{-1}$ . Pro systémy uzavřené hromadné dopravy je hodnota  $2,5 \text{ S.km}^{-1}$ .

Tyto hodnoty budou dosaženy za předpokladu, že:

- Kolejové lože je čisté.
- Pražce betonové nebo dřevěné jsou s izolovaným upevňovacím systémem.
- Prostor mezi kolejnicemi a kolejovým ložem je přiměřeně čištěn.
- Odvodňovací drenáž je účinná.

### 2) Zvýšení elektrické vodivosti kolejí vedoucích zpětný trakční proud

Zpětné kolejnicové vedení musí mít co nejnižší podélný odpor. Aby nedošlo ke zvýšení celkového podélného odporu kolejnic o více než 5%, musí být kolejnice propojeny nebo svařeny kolejnicovými spojkami.

Tohoto zmenšení dosáhneme:

- Příčným propojením kolejnic nebo kolejí.
- Použitím kolejnice většího průřezu.
- Dalším kabelem vedeným paralelně s tratí.

### 3) Minimální vzdáleností mezi napájecími stanicemi

Čím je vzdálenost mezi trakčními měnírny menší, tím je menší odpor trakčního obvodu a také menší proud unikající do země.

#### 4) Volba způsobu napájení trakční sítě

Jednostranné napájení se jeví jako nejméně vhodné, protože při tomto druhu napájení proudy do hnacího vozidla tečou pouze jednou cestou. Nejvíce vhodné je napájení čtyřstranné, při kterém mohou být sousední koleje vzájemně propojeny, čímž se několikanásobně zvětší vodivý průřez kolejí.

#### 5) Provozování napájecí soustavy s co největším napětím

Z hlediska trakčních proudů je výhodné přenášet výkony s co největším napětím a tím minimalizovat proudy v kolejnicích, což povede k minimalizaci bludných proudů.  
[4] [10] [12] [13]

### 2.3. Přehled používaných protikorozních ochranných zařízení

Povinností investorů, projektantů, dodavatelů a provozovatelů úložných zařízení je řešit, zajišťovat, případně udržovat a kontrolovat protikorozní ochranu úložných zařízení před účinky bludných proudů. Je nutné zdůraznit, že řešení PKO jednoho zařízení musí respektovat vliv na ostatní zařízení, neboť z důvodu interferenčního ovlivňování může ochrana jednoho zařízení působit negativně na další zařízení v jeho blízkosti.

Minimální a povinnou PKO je tzv. **pasivní ochrana** úložného zařízení. Její podstata je ve zvýšení elektrického odporu úložného zařízení proti zemi, a to odizolováním povrchu zařízení od korozního prostředí (země), popřípadě zvýšení podélného elektrického odporu úložného zařízení (např. do potrubí se instalují izolační spojky). Je-li možné zkonstruovat potrubí z materiálu elektricky nevodivého, pak je korozivní vliv z bludných proudů úplně vyřešen.

Dále se kromě ochrany pasivní používá zařízení **aktivní protikorozní ochrany** (APKO). Princip APKO spočívá v působení elektrického stejnosměrného proudu. Jde o katodickou ochranu, která je vytvářena vnějším zdrojem elektrického stejnosměrného proudu nebo o katodickou ochranu galvanickými anodami nebo elektrickými drenážemi (včetně zesílených elektrických drenáží, tzv. saturáží). [14]

#### 2.3.1. Pasivní ochrana

Ochrana omezující vstup a výstup bludných proudů do zařízení a ze zařízení nebo omezující tok proudu přes něj.

Druhy pasivní ochrany jsou například:

- Různé druhy izolací (asfaltové, nebo například nejkvalitnější polyethylenové apod.).
- Obsypání zařízení nevodivým materiálem (písek, štěrk apod.).
- Volba trasy úložného zařízení s vyhnutím se místům, kde se vyskytují zemní proudová pole.
- Dokonalá (přísná) technologická kázeň. [4]

### 2.3.2. Aktivní ochrana

**Katodická ochrana** – je založena na principu zpomalení anodické reakce při posunu potenciálu v negativním směru. Při této ochraně se kov stává korozně odolnějším z důvodu dosažení potenciálu, jež termodynamicky odpovídá potenciálu rovnováhy mezi ionty roztoku a kovem.

**Anodická ochrana** – je založena na jevu anodické pasivace kovů. V důsledku anodické polarizace kovu vzniká na povrchu kovu pasivní stav, při kterém je rychlost rozpouštění kovu v daném elektrolytu významně menší než při samovolné korozi. Anodická ochrana je využívána především pro kovy pasivovatelné.

#### Způsoby katodické ochrany

Základním principem katodické ochrany je úmyslné vytvoření elektrického obvodu, ve kterém je v korozním prostředí chráněný předmět katodou. Toho dosahujeme vodivým spojením kovu s chráněným předmětem. V daném prostředí má kov zápornější potenciál než chráněný předmět, tím vznikne umělý galvanický člunek. V takto vytvořeném člunku je chráněný předmět katodou, korozní prostředí tvoří elektrolyt a připojený kov se zápornějším potenciálem je anodou. Anoda se nazývá galvanická anoda (protektor, obětovaná anoda), protože vznik proudu potřebného k ochraně je spojen s jejím rozpouštěním. Tento způsob se nazývá katodická ochrana galvanickými anodami. Chráněný kov, který je připojen k zápornému pólu zdroje ss proudu se stane katodou. Kladný pól zdroje je spojen s pomocnou anodou, která je umístěna do korozního prostředí, tzv. katodická ochrana vnějším zdrojem proudu. Mezi těmito prostředky katodické ochrany není zásadní rozdíl, jelikož pro dosažení ochrany má význam elektrický proud, bez ohledu na to jakým způsobem vznikl.

## 2.4. Způsoby elektrické protikorozní ochrany úložných zařízení

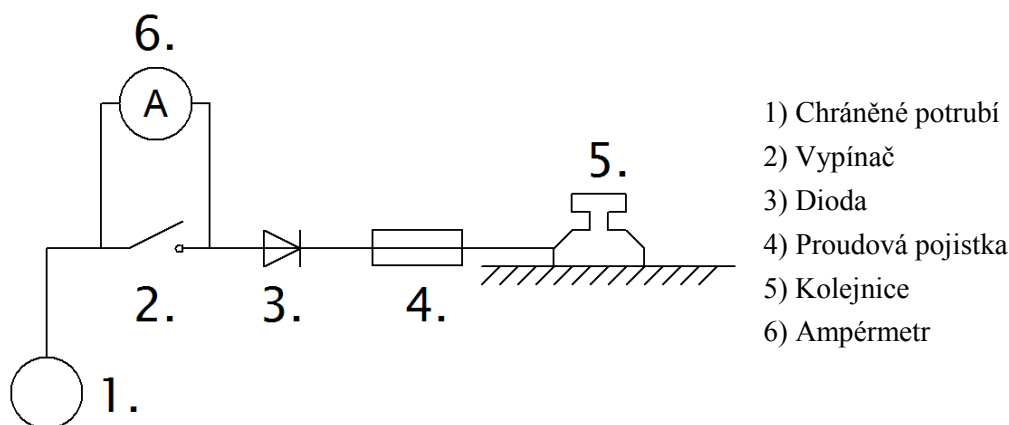
### 2.4.1. Drenáž

Cílem drenáže je odvést proud, který vnikl jinou cestou do úložného zařízení než přímým přechodem z povrchu kovového zařízení do země. Odvedení proudu dosáhneme doplňujícím uzemněním a různými druhy elektrických drenáží.

### 2.4.2. Elektrická polarizovaná drenáž

Zajišťuje, že při změně provozních podmínek zdroje bludných proudů nedojde ke zpětnému toku proudu z kolejnice do úložného zařízení. Do drenážního obvodu je vřazen polovodičový ventil (např. křemíkové diody), který je zapojen jako jednocestný usměrňovač. Toto zapojení je schematicky znázorněno na obr. 8.

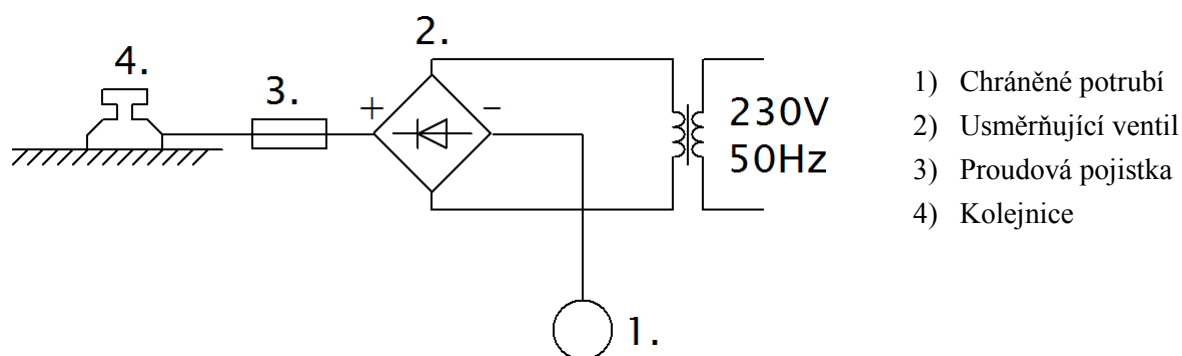
Polarizovaná drenáž je zapojena tehdy, když je kladnější potenciál úložného zařízení než potenciál kolejí. Pak proud teče drenáží od úložného zařízení ke kolejím. Když dojde ke změně situace v opačnou, drenáž se automaticky přeruší. V současné době drenážní zařízení umožňují drenážovat v rozsahu 10 až 250 A při inverzním napětí 400 V. [9] [11] [12]



Obr. 8. Schéma elektrické polarizované drenáže

### 2.4.3. Zesílená elektrická polarizovaná drenáž

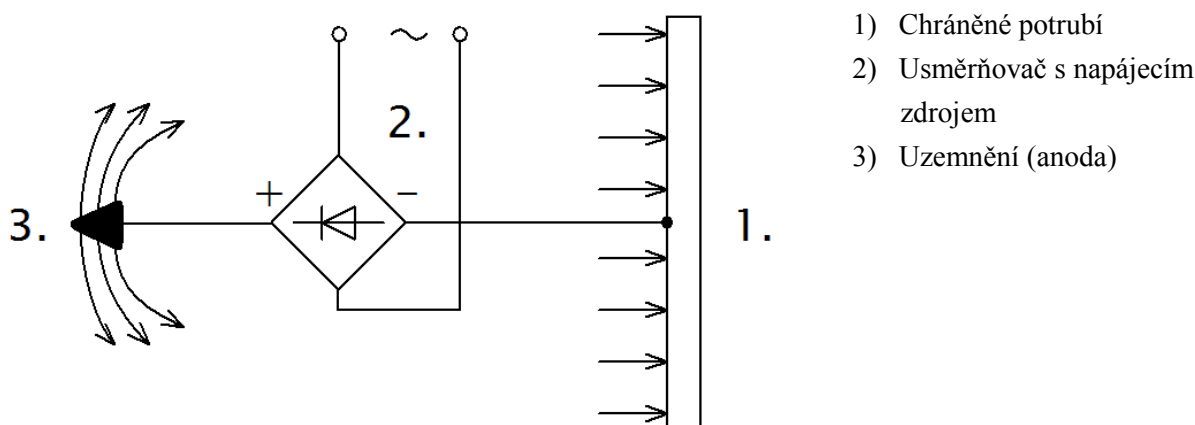
Tato drenáž se používá v místech, kde se užitím polarizované elektrické drenáže nedocílí v místě připojení dostatečně záporného potenciálu potrubí – půda. Jedná se o stanici katodické ochrany, která je zapojena mezi koleje a potrubí tak, aby bludný proud procházel spojením. Proud vystupuje z chráněného potrubí a je přídavným ochranným proudem z usměrňovače dostatečně zvětšován. Velikost celkového proudu v obvodu zesílené drenáže je volena tak, abychom docílili dostatečné ochrany potrubí. Toto zapojení je schematicky znázorněno na obr. 9. [9] [11] [12]



Obr. 9. Schéma zesílené elektrické polarizované drenáže

#### 2.4.4. Katodická ochrana s úložnou anodou

Provedení ochrany je takové, že kabelový plášť je připojen na záporný pól zdroje stejnosměrného proudu a kladný pól je připojen na uzemněnou kovovou hmotu, jež slouží jako anoda. Zemnič katodické ochrany je proveden z libovolného kovu, nejčastěji se používá železo. Za tímto účelem je také možné užít starých materiálů, litinových rour, kusů kolejnic apod. Jelikož odpor anody vždy převládá, je nutné, aby měla pokud možno malý odpor uzemnění (řádu  $1\Omega$ ). Schéma zapojení je na obr. 10.

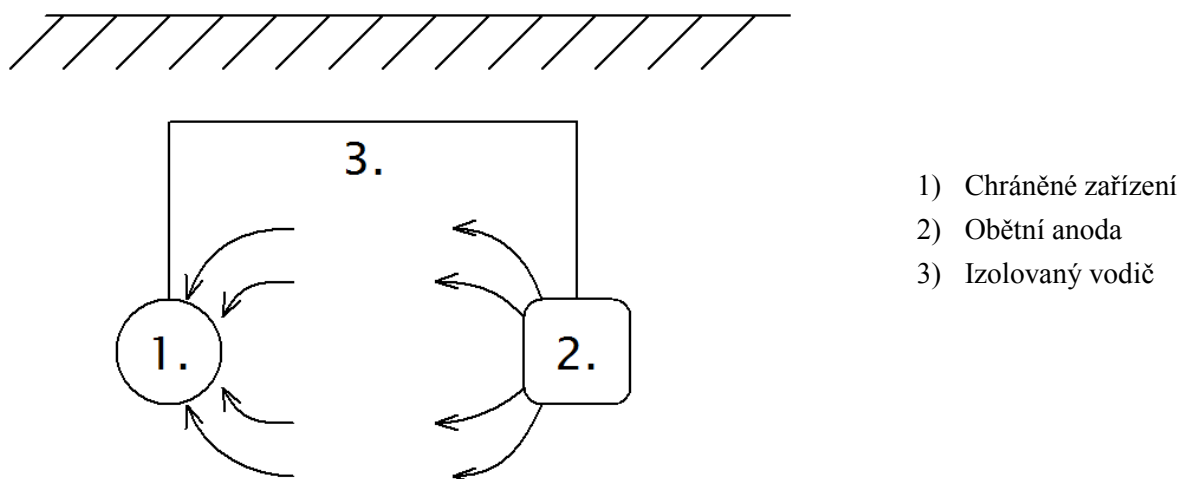


Obr. 10. Schéma katodické ochrany s úložnou anodou

Katodická ochrana se u nás používá nejčastěji. Nejrozšířenější jako ochrana plynovodů, ropovodů a vodovodních řádů. Tato ochrana pracuje s napětím 10 až 50 V a odebírá proudy 10 až 50 A, výkon se pohybuje v rozmezí 100 až 2500 W na ss straně. Aktivní ochrany a jejich použití, které vyžaduje připojení ke kolejnicím, je omezeno případnými negativními vlivy na kolejové zabezpečovací obvody. [4] [12]

#### 2.4.5. Ochrana obětní anodou

Zde se používá galvanických anod, jež se ukládají do země v blízkosti kabelové trasy. Anody se spojují s izolovaným vodičem s chráněným úložným zařízením. Tímto způsobem se vytvoří článek, v němž úložné zařízení přebírá funkci stálé katody a obětní elektroda funkci anody. Jako materiál pro reakční anodu lze použít hořčík, hliník nebo zinek. Nejpoužívanější je hořčík s elektrochemickým potenciálem -2,35 V. Elektromotorická síla článku s reakční anodou bývá obvykle nízká a tudíž se tato metoda nehodí k ochraně úložných zařízení, kde mají zemní proudy vysokou hustotu, tj. v blízkosti elektrizovaných drah. [4] [12]



Obr. 11. Schéma ochrany obětní anodou

## 2.5. Metody používané k měření protikorozní ochrany

### 2.5.1. Měření zdánlivého měrného odporu půdy

Zdánlivý měrný odpor půdy je úzce spjat s korozním ohrožením úložných zařízení. Tento faktor ovlivňující korozní poměry na úložném zařízení je ovlivnitelný pouze při projektování trasy liniového úložného zařízení, kdy kvalifikovaný návrh, jež je podložen korozním průzkumem, může značně prodloužit životnost potrubí.

Nejpoužívanějším způsobem pro stanovení zdánlivého odporu půdy je dle normy ČSN 03 8363 Wennerova metoda. Tato metoda má zásadní význam z hlediska korozního průzkumu. Umožňuje rychlé stanovení agresivity korozního prostředí. Prostředí se poté dle měrného odporu dělí do čtyř skupin.

Tab. 2. Klasifikace půdy podle jejího zdánlivého měrného odporu

Měrný odpor $\rho(\Omega.m)$	Agresivita půdy	Stupeň agresivity
nad 100	Neagresivní	I
50 až 100	Málo agresivní	II
23 až 50	Středně agresivní	III
do 23	Velmi agresivní	IV

Průměrná roční hodnota zdánlivého odporu se dále určí vynásobením naměřené hodnoty činitelem příslušného měsíce, v němž se měření konalo. Přepočítávací činitele jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 3. Přepočítávací činitele zdánlivého měrného odporu půdy

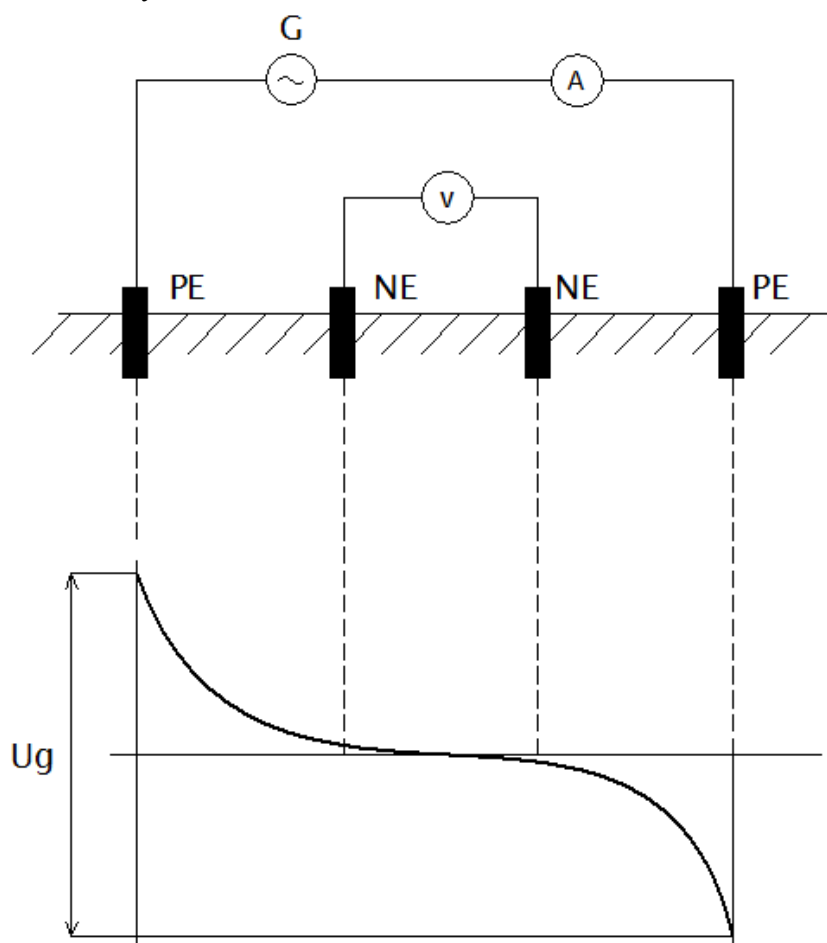
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Součinitel	0,8	0,8	0,9	1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,9

Zdánlivý měrný odpor  $\rho$  se vypočítá podle vztahu:

$$\rho = k \cdot \frac{\Delta U}{I} \quad (\Omega \cdot \text{m}; \text{m}, \text{V}, \text{A}) \quad (2.1)$$

kde  $\Delta U$     napětí mezi napěťovými elektrodami NE  
 $I$         proud protékající proudovými elektrodami PE  
 $k$         koeficient uspořádání  $k = 2\pi \cdot a$   
kde  $a$  je rozteč mezi elektrodami (m)

V ČR je normalizováno Wennerovo uspořádání. Při tomto uspořádání jsou elektrody zapíchnuty do země v jedné ose s konstantním rozstupem a vzdálenost mezi nimi přibližně určuje tloušťku měřené vrstvy.



Obr. 12. Princip měření měrného odporu půdy Wennerovou metodou



## 2.5.2. Měření intenzity a výpočet proudové hustoty zemního proudového pole

Při tomto měření zjišťujeme směr, smysl, intenzitu a proudovou hustotu zemního proudového pole. Podle velikosti měřené plochy se určí počet měřících bodů. Do těchto měřících bodů se umístí nepolarizovatelné elektrody Cu-CuSO<sub>4</sub>, většinou ve dvou, na sebe kolmých směrech. Rozteč elektrod bývá 2,5 až 50m. Nejčastěji používaná vzdálenost je 10m. Elektrody a) a b) umístíme rovnoběžně s kolejemi a elektrodu c) kolmo na směr kolejí (obr. 13).

Mezi nepolarizovatelné elektrody se zapojí registrační voltmetry nebo jakýkoliv přístroj, který umí uložit naměřené hodnoty do své paměti. Doba měření proudového pole je minimálně 3 hodiny.

Po skončení měření se ze záznamu z registračního přístroje určí maximální a střední hodnota napětí.

Intenzitu zemního proudového pole určíme z těchto napětí a vzdáleností elektrod.

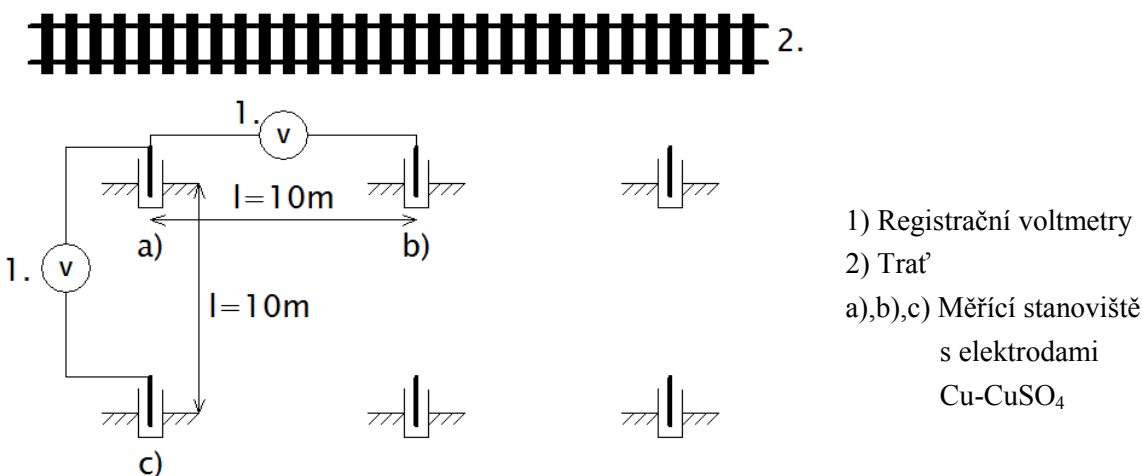
$$E_{stř} = \frac{U_{stř}}{l} \quad (\text{V} \cdot \text{m}^{-1}, \text{V}, \text{m}) \quad (2.2)$$

$$E_{max} = \frac{U_{max}}{l} \quad (\text{V} \cdot \text{m}^{-1}, \text{V}, \text{m}) \quad (2.3)$$

kde  $E_{stř}, E_{max}$  střední a maximální hodnota intenzity zemního proudového pole  
 $U_{stř}, U_{max}$  střední a maximální hodnota měřeného napětí  
 $l$  vzdálenost elektrod, mezi kterými byly registrační voltmetry zapojeny

Tab. 4. Klasifikace zemního proudového pole podle intenzity

Intenzita E (mV.m <sup>-1</sup> )	Klasifikace intenzity
do 0,5	Slabá
od 0,5 do 5	Střední
nad 5	Silná



Obr. 13. Rozmístění měřících stanovišť

Z intenzity zemního proudového pole a zdánlivého měrného odporu půdy určíme proudovou hustotu.

$$\sigma = \frac{E_{stř}}{\rho} \quad (\text{A.m}^{-2}; \text{V.m}^{-1}, \Omega.\text{m}) \quad (2.4)$$

kde  $\sigma$  proudová hustota zemního proudového pole  
 $E_{stř}$  střední hodnota intenzity zemního proudového pole  
 $\rho$  měrný odpor půdy

*Tab. 5. Klasifikace korozního prostředí podle proudové hustoty zemního proudového pole*

Proudová hustota $\sigma$ ( $\mu\text{A.m}^{-2}$ )	Korozní prostředí	Třída koroze
Pod 0,1	Velmi nízké	I
0,1 až 3	Střední	II
3 až 100	Zvýšené	III
Nad 100	Velmi vysoké	IV

[1] [6]

### **3. Měření ve vybrané lokalitě (mostní objekt – Třinec)**

#### **3.1. Vliv bludných proudů na mostní objekty**

Kovová i železobetonová zařízení, nejsou-li dobře elektricky izolována od země, mohou vést značnou část proudu s intenzitou dosahující až několik desítek ampér, z Faradayova zákona vyplývá, že stejnosměrný bludný proud o velikosti 1 A způsobí za jeden rok elektrochemickou korozi ztrátu železa o hmotnosti 9,1 kg na každém vstupu proudu.

Problematika korozních účinků střídavých bludných proudů na železobetonovou konstrukci není zcela jednoznačně objasněna. Je prokázán vliv těchto bludných proudů na konstrukce zejména ve spolupůsobení se stejnosměrnými bludnými proudy.

U železniční tratě s jednofázovou trakční proudovou soustavou v krátké vzdálenosti za vlakovou soupravou přechází prakticky všechny zpětný trakční proud do země.

Z těchto důvodů jsou mostní objekty pro železniční tratě elektrizované jednofázovou proudovou trakční soustavou posuzovány jako stavby vystavené korozním účinkům bludných proudů se stupněm ochranných opatření č. 4 podle tabulky 6. Navržená opatření jsou určena jak k provozním kontrolním měřením, tak i k dodatečným úpravám v případě dalšího teoretického nebo praktického poznání.

Pro střídavý i stejnosměrný bludný proud obecně platí, že v železobetonových zařízeních nelze beton považovat za izolační materiál. [15]

Tab. 6. Stupně ochranných opatření pro omezení bludných proudů [15]

<b>Stupně základních pasivních ochranných opatření pro omezení vlivů bludných proudů</b>		
<b>Základní ochranná opatření stupeň č.</b>	<b>Proudová hustota (<math>A \cdot m^{-2}</math>)</b> Hodnoty změřené nebo přepočtené koeficientem sacího efektu mostu	<b>Provedení základních ochranných opatření.</b> Opatření dle číslic a písmen lze kombinovat na základě odborného posouzení
<b>1</b>	$< 1 \cdot 10^{-7}$	1. Primární ochrana dle ČSN ISO 9690 (73 1215) a ČSN P ENV 206 (74 2403), tab. 3 A - bez propojení výztuže a jejího vyvedení na povrch konstrukce
<b>2</b>	$1 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-6}$	2. Kombinace primární ochrany dle ČSN ISO 9690 (73 1215) a ČSN P ENV 206 (74 2403), tab. 3 a případné sekundární ochrany dle SR, kapitola III B - bez propojení výztuže a jejího vyvedení na povrch
<b>3</b>	$3 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$	3. dtto ad 2 plus C - konstrukční opatření dle SR, kapitola III, bez propojení výztuže a jejího vyvedení na povrch konstrukce
<b>4</b>	$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-2}$	4. dtto ad 2 plus D - konstrukční opatření dle SR, kapitola III, včetně propojení výztuže a jejího vyvedení na povrch konstrukce
<b>5</b>	$> 1 \cdot 10^{-2}$	5. dtto ad 4 plus E - dokumentace „Elektrické rozvody a zařízení pro kontrolu vlivu bludných proudů“ umožňující elektrická a geofyzikální měření včetně realizace ev. návrhu následných ochranných opatření

### 3.2. Postupy při zjišťování ochrany pro omezení účinků bludných proudů

Doporučený postup při návrhu ochranných opatření pro fázi předprojektové přípravy, projektové přípravy, stavby a po dokončení stavby stanovují články podrobný průzkum a údržba ochranných zařízení v služební rukověti SR 5/7(S). Tento postup se používá také při měření pro ověření účinků bludných proudů u stávajících mostů určených správcem. [15]

#### 3.2.1. Podrobný průzkum

Součástí zadání každé stavby musí být požadavek objednatele zajistit podrobný průzkum.

Výsledek podrobného průzkumu se zpracuje do zadávacích podmínek. Hlavní zásady podrobného průzkumu jsou určeny normou ČSN 03 8370.

Pokud se zjistí, že

- a) mostní objekt je určen pro elektrizovanou železniční trať,
- b) mostní objekt není určen pro elektrizovanou železniční trať, ale v okruhu
- c) km vede jiná železniční trať elektrizovaná proudovým systémem,
- d) do vzdálenosti 500 m od mostního objektu již jsou nebo jsou plánována zařízení, která mohou být zdrojem bludných proudů, zejména měnirny a stanice katodické ochrany,
- e) geologické podklady připouští blízký výskyt zdrojů spontánní polarizace, jako jsou rudná ložiska, výskyty grafitů a grafických břidlic nebo výskyt vodivých tektonických zón, musí se provést **základní korozní průzkum** [15] [16]

### **3.2.2. Základní korozní průzkum**

Metody postupu stanovení agresivity prostředí (měření hustoty bludných proudů) z hlediska korozních vlivů elektrických polí stanovuje norma ČSN 03 8372. Projektant stavby zajišťuje u specializovaného pracoviště základní korozní průzkum včetně jeho vyhodnocení a stanovení stupně ochranných opatření. Na základě vyhodnocení základního korozního průzkumu, musíme přihlédnout i k charakteristice mostního objektu, se stanoví stupeň ochranných opatření podle tabulky 6. [15] [16]

### **3.2.3. Návrh opatření v průběhu projektových prací**

Při zpracování projektové dokumentace se navrhuje ochranná opatření (tzn. v případě dodavatelské – výrobní dokumentace) na základě vyhodnocení základního korozního průzkumu.

Při stupni ochranných opatření:

- a) č. 1 až č. 3 – navrhuje opatření projektant
- b) č. 4 až č. 5 – navrhuje opatření projektant ve spolupráci se specializovaným pracovištěm.

Když je zvolen stupeň ochranných opatření č. 4 a č. 5 zpracuje se soupis elektrických a geofyzikálních měření prováděných v průběhu a po dokončení stavby.

Takto zpracovaný soupis je podkladem pro (objednávku) provedení prací v terénu, jejich vyhodnocení a vypracování dokumentace elektrických a geofyzikálních měření (DEM).

U stupně č. 5 ochranného opatření se zpracovává dokumentace rozvodů a zařízení pro elektrická a geofyzikální měření. [15]

### **3.2.4. Kontrolní měření v průběhu stavby mostu**

Toto měření zhotovitel stavby zajišťuje u specializovaného pracoviště podle soupisu elektrických a geofyzikálních měření uvedeného v projektu.

Při kontrolním měření se například měří kvalita plastbetonových vrstev, kvalita oddělení ložisek, velikost elektrického odporu nosné konstrukce před osazením mostních závěrů atd. Z těchto měření musí být vypracovány protokoly. [15]

### **3.2.5. Závěrečná měření po dokončení stavby mostu a doporučení pro provozovatele**

V závěrečné zprávě (DEM) musí být zpracována provedená závěrečná měření a jejich výsledky společně s kontrolním měřením v průběhu stavby mostu.

Závěrečná zpráva (DEM) musí obsahovat:

- Vyhodnocení provedených ochranných opatření v průběhu stavby.
- Vyhodnocení celkového stavu mostu po dokončení stavby z hlediska vlivu bludných proudů.
- Návrh na případná dodatečná ochranná opatření.
- Doporučení pro správce mostního objektu v oblasti údržby.
- Doporučení pro opakované kontrolní měření jeho rozsah. [15]

### **3.3. Opatření vedoucí ke snížení účinků bludných proudů na mostní objekty**

Cílem stavebních úprav, vedoucích ke snížení účinků bludných proudů, je nejdříve elektricky oddělit jednotlivé části mostní stavby. Částmi mostní stavby se rozumí spodní stavba a nosná konstrukce. A dále omezit průchod bludných proudů mostní konstrukcí. Po dokončení stavby a kontrolních elektrických a geofyzikálních měření se na jejich základě vyhodnotí efektivnost přijatých pasivních ochranných opatření a případně se navrhnou další dodatečná ochranná opatření. Dalšími dodatečnými ochrannými opatřeními jsou například úplné galvanické pospojování všech vodivých částí mostního objektu a převedení tak bludných proudů přes konstrukci nebo například rozhodnutí o použití aktivní ochrany, která se ale doposud v ČR pro ochranu mostních konstrukcí až na výjimky nepoužívá. Aktivní ochrana se používá až v případech, kdy jsou veškerá pasivní ochranná opatření neúčinná a také v případech, kdy naměřené hodnoty prokazatelně poukazují na destrukční účinky bludných proudů na mostní konstrukci.

Při návrhu ochranných opatření je nutné respektovat ustanovení norem ČSN 34 1500 a ČSN 34 2613, které se vztahují na součásti mostního objektu.

Aby bludné proudy, které přechází do mostního objektu byly co nejmenší, musí být dodržena následující opatření.

Ukolejnění se provádí v prostoru ohrožení trakčním vedením dle normy ČSN 34 1500 a použije se průrazka s opakovatelnou funkcí a izolovaný vodič. Nepřípustné je ukolejňování součástí mostního objektu přímo na kolejnici.

Zpětné trakční vedení (kolejnice) musí mít elektrický odpor udržován co nejmenší.

Kolejové lože musí být čisté, propustné, vzdušné po celé délce přemostění a nesmí se dotýkat paty kolejnice. V kolejovém loži se upraví volný prostor pod každým kolejnicovým pásem na šířku 400mm a hloubku 50mm pod patou kolejnice.

Kolejnice na mostech má být bez styků.

Ochranná uzemnění musí být provedena podle normy ČSN 34 1500 a to zvlášť, jestliže jde o oddělení místní rozvodné sítě nn a uzemňovací soustavy dráhy.

U železobetonových konstrukcí mostních objektů nesmí dojít k elektricky vodivému spojení jakékoliv součásti mostu umístěné mimo nosnou konstrukci mostního objektu s ocelovou výztuží.

U elektrizovaných a k elektrizaci připravovaných tratí je doporučováno provádět ochranná opatření železobetonových mostních konstrukcí minimálně ve stupni č. 4 základních ochranných opatření podle tabulky 6. [15]

### **3.4. Základní pasivní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty**

Základní pasivní ochranná opatření mostních objektů, které mohou být vystaveny účinkům bludných proudů, musí být navržena dle tabulky 6. Pasivní ochranná opatření se dělí na primární ochranu, sekundární ochranu a konstrukční opatření.

#### **3.4.1. Primární ochrana**

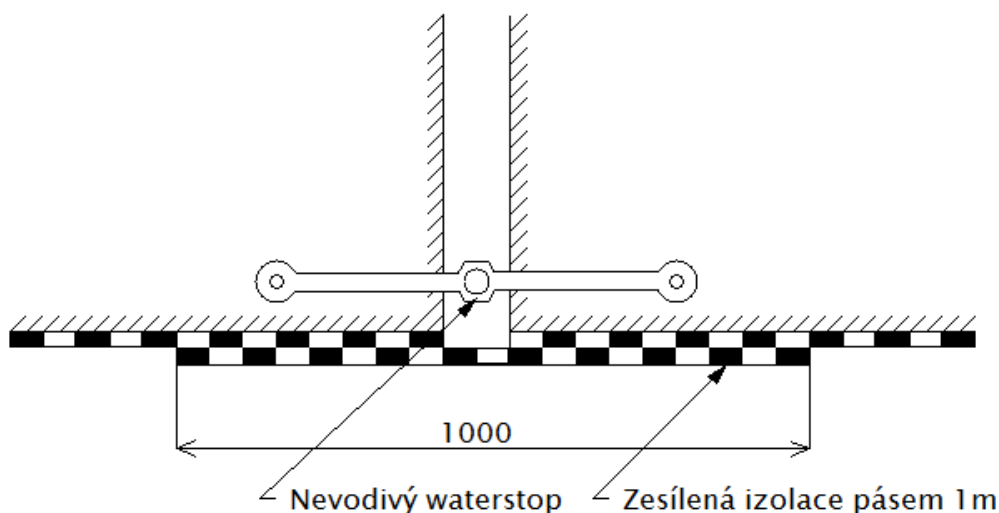
- 1) Pro danou značku betonu a třídu prostředí jsou v normě ČSN 73 6206 přesně dány minimální tloušťky betonu krycí vrstvy a jsou dostatečné i z hlediska ochrany před bludnými proudy.
- 2) Maximálně se musí omezit možnost vzniku trhlin v betonu. Proto se volí vhodná konstrukční a technologická opatření. Mezi tyto opatření patří například nižší vodní součinitel, vhodný podíl frakcí kameniva v betonové směsi, úprava výztuže.
- 3) Nepřípustné je užití vodivých distančních vložek pro výztuž.
- 4) Nutné je užití portlandských cementů.
- 5) Obsah chloridových iontů v betonu u železobetonových konstrukcí staveb nesmí překročit 0,4%  $\text{Cl}^-$  z hmotnosti cementu.
- 6) Obsah chloridových iontů u konstrukcí z předpjatého betonu nesmí přestoupit hodnotu 0,02%  $\text{Cl}^-$  z hmotnosti cementu a obsah sulfidů a siřičitanů hodnotu 0,02% z hmotnosti cementu.
- 7) Kamenivo, které se používá na výrobu předpjatého betonu nesmí obsahovat více než 0,02 % ve vodě rozpustných chloridů.
- 8) Doporučuje se použití moderních materiálů, jako jsou elektricky nevodivé příměsi (polymery, apod). [15] [16]

### 3.4.2. Sekundární ochrana

- 1) Nutnost chránit konstrukce z betonu před agresivními vlivy zemin, zemní vlhkostí, podzemní vodou, před agresivními vlivy kapalných, plyných i tuhých látek, před klimatickými vlivy i před vlivem provozu.
- 2) Ochrana povrchu betonu ohrožené konstrukce spočívá v navržení vhodného způsobu systému ochrany. Těmito systémy ochrany mohou být ochranné nátěry, nástřiky, fólie, izolační pásy, impregnace atd.
- 3) Použití izolačních pásů s elektricky vodivými vložkami se nedoporučuje. Pro použití ochrany hydroizolace cementovou mazaninou s kovovou vložkou musí být splněna podmínka dokonalého krytí kovové části betonem. [15] [16]

### 3.4.3. Konstruktivní opatření

- 1) Z elektrického hlediska je hlavní zásadou elektricky oddělit jednotlivé části stavby mostního objektu od sebe, zvláště spodní stavbu od nosné konstrukce. Jestliže jde o široké mostní objekty, musí se vodivě přerušit minimálně po 50m a vzájemně oddělit nevodivou vložkou (obr. 14).



Obr. 14. Detail přerušení mostní konstrukce

- 2) Hydroizolace nosné konstrukce musí být zásadně celoplošná.
- 3) Jestliže se pro oddělení vodorovné nosné konstrukce od spodní stavby provádí plastbetonová vrstva jakožto nevodivá izolující část, je nutné, aby receptura plastbetonu odpovídala co nejvyšší hodnotě měrného odporu, minimálně  $1 \cdot 10^6 \Omega \cdot m$ . Nekvalitní příprava plastbetonu způsobuje nehomogenost materiálu, pórovitost, nasákavost a vede ke ztrátě izolačních

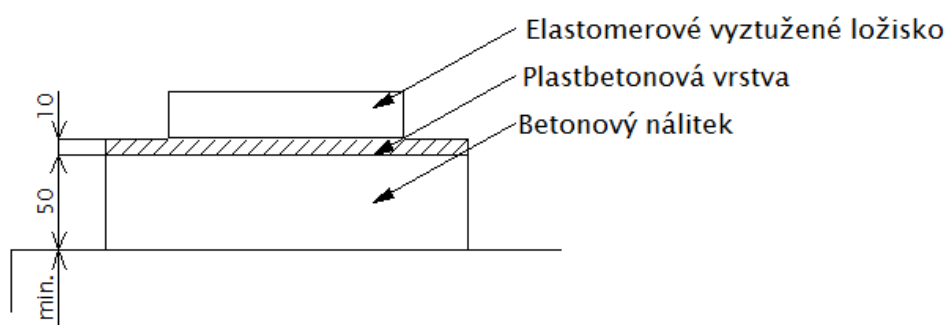


vlastností plastbetonu. Kontrola jeho kvality se provádí měřením elektrického odporu v průběhu stavby.

#### 4) Ložiska

Za elektricky vodivé považujeme všechny druhy ložisek. Pro zvětšení elektrického odporu se navrhuje následující konstrukční opatření:

- a) Na úložný práh se nabetonují železobetonové výstupky nebo pásy, které jsou minimálně 50 mm vysoké. Na jejich povrch se nanáší plastbetonová vrstva tloušťky minimálně 10 mm. Na plastbetonovou vrstvu se dále uloží elastomerová ložiska nebo se přilepí úložná deska ložiska (obr. 15).



Obr. 15. Ložisko na betonovém nálitku

- b) Jestliže je potřeba z důvodů přenášení velkých vodorovných sil ložisko zapustit do hnízda v úložném prahu nebo se ukládají kotvící prvky ložiskových desek do úložného prahu, nesmí nikde docházet k dotyku ložiska s částí betonu, všechny kotvící otvory a hnízda se musí vyplnit plastbetonem tloušťky minimálně 10 mm.
- c) Při kolejnicovém nebo obdobném uložení musí být toto uloženo v rýze, která je vylitá plastbetonem. Plastbeton dostatečně přesahuje na povrchu úložného prahu tak, aby nedocházelo například nečistotou k vodivému propojení nosné konstrukce a spodní stavby. Jestliže se kotvení provede betonářskou výztuží, je nutné opatřit hnízdo ve spodní stavbě pro každý roubík plastbetonem.

#### 5) Mostní závěry

Mostní závěry musí být vodivě odděleny. Pod kluznou částí závěru se navrhuje vrstvička plastbetonu tloušťky 4 mm nebo také fólii z teflonu či měkčeného PVC. Před nanesením vrstvy plastbetonu je nutné dokonale odmastit styčnou plochu ložiska a přivařit krycí plech až po zatvrdnutí plastbetonu, aby nedošlo k přilepení.

#### 6) Zábradlí

Nejúčinnějším a nejjednodušším způsobem, jak zábradlí na nosné konstrukci izolovat od zábradlí na opěrách a křídlech, je vytvoření vzduchové mezery mezi vodorovnými prvky zábradlí nad dilatací. Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím zábradlí, které zasahuje

do prostoru ohrožení trakčním vedením, se provádí podle normy ČSN 34 1500. Jako ochranné opatření se doporučuje sloupky zábradlí uložit v kapsách říms do plastbetonu.

**7) Odvodnění**

Jestliže je odvodnění navrženo tak, že kovové součásti přechází z nosné konstrukce na opěru nebo křídlo, musí se kovové části oddělit vzduchovou mezerou nebo izolovat fólií z měkčeného PVC na takovou délku, aby ani při maximální dilataci nosné konstrukce nedocházelo ke styku vodivých částí žlabu. Svislé svedení vody z mostu musí být provedeno stejně. Část upevněná na nosné konstrukci musí být vzduchovou mezerou oddílována od části navazující na spodní stavbu mostu (pilíře, opěry). Jsou-li svody zhotoveny z elektricky nevodivých materiálů, oddílování není potřeba provádět.

**8) Osvětlovací stožáry**

Projektant, který projektuje osvětlení, používá rozvodnou soustavu s ochrannou neživých částí elektrickým oddělením nebo ochranu jednotlivých spotřebičů (stožárů) elektrickým oddělením. Napájecí kabel a připojení jednotlivých stožárů musí mít třídu izolace II.

Když se použije ochrana neživých částí elektrickým oddělením, může se ukotvení ocelového (železobetonového) stožáru do mostní konstrukce provést neizolovaně. Takové stožáry, jež jsou umístěny v prostoru ohrožení trakčním vedením, není potřeba ukolejňovat. V případě ukolejnění se používá průrazka s opakovatelnou funkcí.

**9) Protidotykové zábrany a ochrany proti účinkům výfukových plynů**

Konstrukce protidotykových zábran a ochran, která je z elektricky vodivého materiálu a zasahuje do prostoru ohrožení trakčním vedením, musí být ukolejňována přes průrazku s opakovatelnou funkcí proto, aby byla splněna ochrana před nebezpečným dotykem.

Konstrukce, které nezasahují do POTV se neukolejňují.

**10) Trakční podpěry umístěné na nosné konstrukci mostu**

Ochrana podpěr před nebezpečným dotykem se provádí dle normy ČSN 34 1500

Ukolejnění podpěry se provádí přes průrazku s opakovatelnou funkcí.

**11) Ostatní inženýrské sítě**

Když mostem prochází inženýrské sítě, je nutné zabránit zavlečení bludných proudů do konstrukce mostu. Jestliže jsou uloženy inženýrské sítě na vlastní nosné konstrukci, musí se nosná konstrukce upevnit izolovaně od mostního objektu nebo inženýrské sítě uložit izolovaně na jejich nosnou konstrukci. Inženýrské sítě mohou být také uloženy na mostní konstrukci přímo a to izolovaně. Ochrany řeší projektant mostního objektu s projektantem inženýrských sítí společně. Podle charakteru inženýrských sítí navrhnou projektanti opatření k zabránění vzniku nebezpečného dotykového napětí navzájem mezi inženýrskými sítěmi i proti mostní konstrukci (vložení izolačních spojů v místech dilatací mostu apod.).

**12) Propojení výztuže a její vyvedení na povrch konstrukce**

Podle ochranných opatření č. 4 a č. 5 uvedených v tabulce 6 se požaduje zvlášť vodivé propojení výztuže spodní stavby, zvlášť vodivé propojení výztuže nosné konstrukce a jejich

vyvedení na povrch pro měření. Vývody se umísťují do ocelových destiček opatřených šroubem nebo závitem.

Ochranná opatření dle stupně č. 4 uvedeného v tabulce 6 jsou obsažena ve stavební části dokumentace mostního objektu.

Ochranná opatření dle stupně č. 5 uvedeného v tabulce 6, tedy propojování výztuže a vyvedení na povrch konstrukční části, jsou součástí dokumentace stavební části mostního objektu.

U podpěr, které mají ochranná opatření navržena ve stupni č. 4 a č. 5, se provede propojení a vývod betonářské výztuže spodní stavby železným drátem o průměru 8mm (popř. železným páskem 20x3 mm) přivařeným na destičku s vně přivařeným šroubem. Destička je pro snadné měření zabudována na podpěře mostu vstříčně k vývodu z nosné konstrukce. Při provádění armokošů se doporučuje provést elektrickým svarem minimálně 50% spojů a vázacím drátem zbývající část.

U mostních objektů z předpjatého betonu, u kterých nejsou předpínací kabely průběžné po celé délce mostu, je nutné vodivě propojit všechny kotevní desky kabelů.

Vývody od jednotlivých kotevních desek provedené drátem FeZn o průměru 4,5 mm se připojí rozpojitelnou svorkou na podélný drát FeZn o průměru 8 mm (popř. pásek FeZn 20x3 mm) vedený tubusem mostu nosné konstrukce mostu tak, aby došlo k vzniku uzavřeného okruhu. Na tento drát (pásek) se připojí také vývody z kotevních desek kabelů průběžných. Kde nelze propojovací vodič vést uvnitř nosné konstrukce, provede se podélným ocelovým (armovacím) drátem o průměru 8 mm umístěným v podkladním betonu. Mezi konstrukcí a podkladním betonem nesmí být žádná izolační vrstva.

Když nemá nosná konstrukce přístupný vnitřek nebo nemá uzavřený průřez, propojovací drát (pásek) se vyvádí na destičku s přivařeným šroubem na přístupném místě vně nosné konstrukce.

U konstrukcí s jednotlivými kabely (dráty), například u předem předpínané strunobetonové konstrukce je nutné tyto kabely propojit navzájem svorkami a vyvést na destičku se šroubem vně konstrukce.

U spřažených konstrukcí mostů beton – beton se předpjatá výztuž propojí, betonářská nevyžaduje propojení a platí stejné zásady jako v odstavci předchozím.

U ocelových konstrukcí mostů nebo spřažených konstrukcí beton – ocel se doporučuje provádět ochranná opatření dle stupně č. 3.

Individuálně se posuzují mosty obloukové a rámové.

Rozpěrákové mosty lze řešit oddělením spodní stavby od nosné konstrukce. Rozpěrákového účinku dosáhneme betonářským železem jakožto roubíkem chráněným plastbetonem. [15]

### 3.5. Vlastní korozní měření

#### 3.5.1. Rozsah korozního měření

- měření elektrického odporu mezi sousedními měřicími body dle služební rukověti ČD SR 5/7(S),
- měření směsného potenciálu výztuže NK a UP (referenční elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub>) dle ČSN EN 13509,
- měření potenciálů trakční koleje (referenční elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub>) dle ČSN EN 13509,
- vyhodnocení naměřených hodnot ve vztahu k platným ČSN,
- vyhodnocení dle služební rukověti ČD SR 5/7(S) „Ochrana železničních mostních objektů proti účinkům bludných proudů a přílohy „Dokumentace elektrických a geofyzikálních měření železničních mostních objektů“.

Při měření nedošlo k porušení bezpečnostních závěr (plomb).

#### 3.5.2. Základní informace o mostním objektu

Předmětem měření byl most přes řeku Líštnici v ŽST Třinec (viz. Mapa 1 a Mapa 2 v příloze DP). Most po rekonstrukci se nachází na trati ČD z Českého Těšína do Mostů u Jablunkova.

Trat' je elektrizována stejnosměrnou trakční proudovou soustavou 3 kV. Vzhledem k tomu, že se most nachází na železniční elektrizované trati, vztahuje se na něj směrnice ČD SR5/7(S) Služební rukověť – Ochrana železničních mostních objektů proti účinkům bludných proudů. Z hlediska podmínek pro vznik bludných proudů je kolejové lože v blízkém okolí měřicího místa vyhovující, kolejnice jsou celosvařované. Ukolejnění trakčních stožárů v blízkém okolí měřicího místa je provedeno podle normy ČSN 34 1500 a ČSN EN 50122-1. K ukolejnění je použita průrazka s opakovatelnou funkcí a izolovaný ukolejňovací vodič.

Na trati je střední intenzita provozu.

#### 3.5.3. Konstruktivní provedení mostního objektu

**Nosné konstrukce** – tvořeny železobetonovou deskou a zabetonovanými válcovými nosníky profilu HEB400.

**Spodní stavba** – tvořena železobetonovými úložnými prahy. Prahy jsou rozděleny dilatácemi v místech dilatace nosné konstrukce.

**Ložiska** – kolejnicová, která jsou osazena ve žlábků úložných prahů na vrstvě plastbetonu.

**Zábradlí** – ocelová, na římsách a křídlech, kotvení sloupků zábradlí je provedeno pomocí kotevních desek a chemických kotev. Na římsách a opěrách je zábradlí vzájemně propojeno a ukolejňováno přes průrazku UPOG 500V.

### 3.5.4. Protikorozní ochrana mostního objektu

Ochranná opatření před účinky bludných proudů spočívají zejména v pasivní ochraně a konstrukčních opatřeních:

- Galvanické pospojování (provaření) jednotlivých vodivých částí mostního objektu s vyvedením na měřicí destičky (přístupné z řeky).
- Celoplošná izolace.
- Nosná konstrukce uložena izolovaně na spodní stavbu pomocí ložisek.
- Sloupky zábradlí uloženy izolovaně.

### 3.5.5. Měřicí systém KORODAT-5

Základem korozního měření je systém KORODAT se speciálním programovým vybavením. Systém se skládá ze záznamníku KORODAT-5, ovládacích modulů a softwaru dodávanému k měřicímu záznamníku. K měření jsou dále zapotřebí referenční elektrody Cu/CuSO<sub>4</sub>

Z potenciálových a proudových měření, která se provádí v pravidelných intervalech (0,5 s) po dobu až 36 hodin, jsou získány průkazné statistické soubory pro každý měřicí bod.

Pomocí softwaru můžeme tyto naměřené hodnoty dále zpracovávat. Například zhotovit grafický průběh potenciálu nebo proudu v závislosti na čase.

Naměřené hodnoty mohou být využity pro:

- Protokol o korozním měření.
- Korozní mapy a jejich tvorbu. Charakterizují korozního prostředí v okolí ČD.
- Právníkou osobu ve smyslu § 47 zákona č.266/1994 Sb. (Protokol o technické prohlídce a zkoušce určeného zařízení).
- Pasportizaci úložných zařízení ve správě ČD.
- Normativní účely (připomínkování návrhů nových ČSN).
- Účely kolaudace (předávací a přejímací řízení).
- Archivní účely ČD.
- Jednání s nedrážními fyzickými a právníckými osobami. Vypracování podmínek a připomínek k stavebnímu řízení pro stavby na dráze. [14]

### 3.5.6. Použité metody měření

Číselné hodnoty sledovaných veličin byly měřeny a ukládány pomocí záznamníků KORODAT 5. Zaznamenané hodnoty byly dále zpracovány v softwaru KORODAT, který je dodáván k záznamníkům.

Abychom zjistili stav výztuže, bylo použito měření směsného potenciálu výztuže (umožňuje zjednodušeným způsobem hodnotit korozní situaci jednotlivých částí mostu a sledovat jak působí cizí elektrické pole) a měření odporu mezi jednotlivými dilatačními celky. Při měření byla použita

síranomědnatá elektroda dle normy ČSN EN 13509. Před měřením byly elektrody zkontrolovány dle normy ČSN 03 8362 a potenciálový rozdíl mezi jednotlivými elektrodami byl menší než 50 mV.

### **3.5.7. Použité měřicí přístroje**

Záznamník KORODAT-5, v. č. 2

Záznamník KORODAT-5, v. č. 3

Záznamník KORODAT-5, v. č. 10

Záznamník KORODAT-5, v. č. 12

Záznamník KORODAT-5, v. č. 21

Záznamník KORODAT-5, v. č. 22

Záznamník KORODAT-5, v. č. 23

Záznamník KORODAT-5, v. č. 24

Záznamník KORODAT-5, v. č. 25

Záznamník KORODAT-5, v. č. 26

APPA 109 N - Digitální altimetr, v. č. 63601070

PU 193 - Měřič zemních odporů, v. č. 180622054

Odporový dělič, v. č. 04/01- 2005

Teplotní čidlo (Metex), v. č. 316.12-430828

### **3.5.8. Podmínky měření**

Průměrná teplota vzduchu: +14 °C

Půdní podmínky: Sucho

### 3.5.9. Měření odporová

Mostní konstrukce je rozdělena na 15 dilatačních celků (obr. 17). Každý z celků má z výztuže na povrch konstrukce vyvedeny měřicí vývody, ke kterým je možno připojit měřicí přístroje. Měření spojitosti dilatačních celků bylo provedeno přístrojem PU193 – Měřič zemních odporů.

V následující tabulce (tab. 7) jsou rozepsány dilatační celky tak, jak byly mezi sebou měřeny a zaznamenány hodnoty jejich odporů.

*Tab. 7. Naměřené hodnoty odporů mezi jednotlivými částmi mostního objektu*

Místo měření	Naměřené hodnoty odporu ( $\Omega$ )	Hodnocení dle Služební rukověti ČD - SR 5/7(S)
MD mezi sebou na NK a UP	0	Hodnota požadovaná
NK1 / UP1-1	80	Hodnota standardní
NK2 / UP1-2	600	Hodnota standardní
NK3 / UP1-3	85	Hodnota standardní
NK4 / UP1-4	76	Hodnota standardní
NK5 / UP1-5	80	Hodnota standardní
NK1 / NK2	620	Hodnota standardní
NK2 / NK3	605	Hodnota standardní
NK3 / NK4	140	Hodnota standardní
NK4 / NK5	145	Hodnota standardní
UP1-1 / UP1-2	28	Hodnota standardní
UP1-2 / UP1-3	31	Hodnota standardní
UP1-3 / UP1-4	30	Hodnota standardní
UP1-4 / UP1-5	21	Hodnota standardní

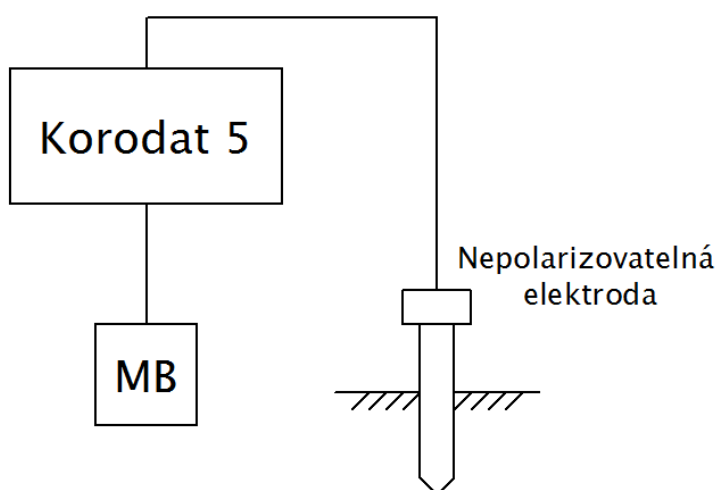
### 3.5.10. Měření potenciálová

Potenciálová měření byla provedena tak, že na měřicí vývody dilatačních celků, uvedených v následující tabulce (tab. 8), byl připojen záznamník KORODAT 5, který snímal průběh potenciálu vůči referenční elektrodě Cu/CuSO<sub>4</sub> umístěné v zemi.

Mimo měření mezi Dilatační celek / Elektroda bylo dále provedeno také měření potenciálu mezi Trakční kolej / Elektroda.

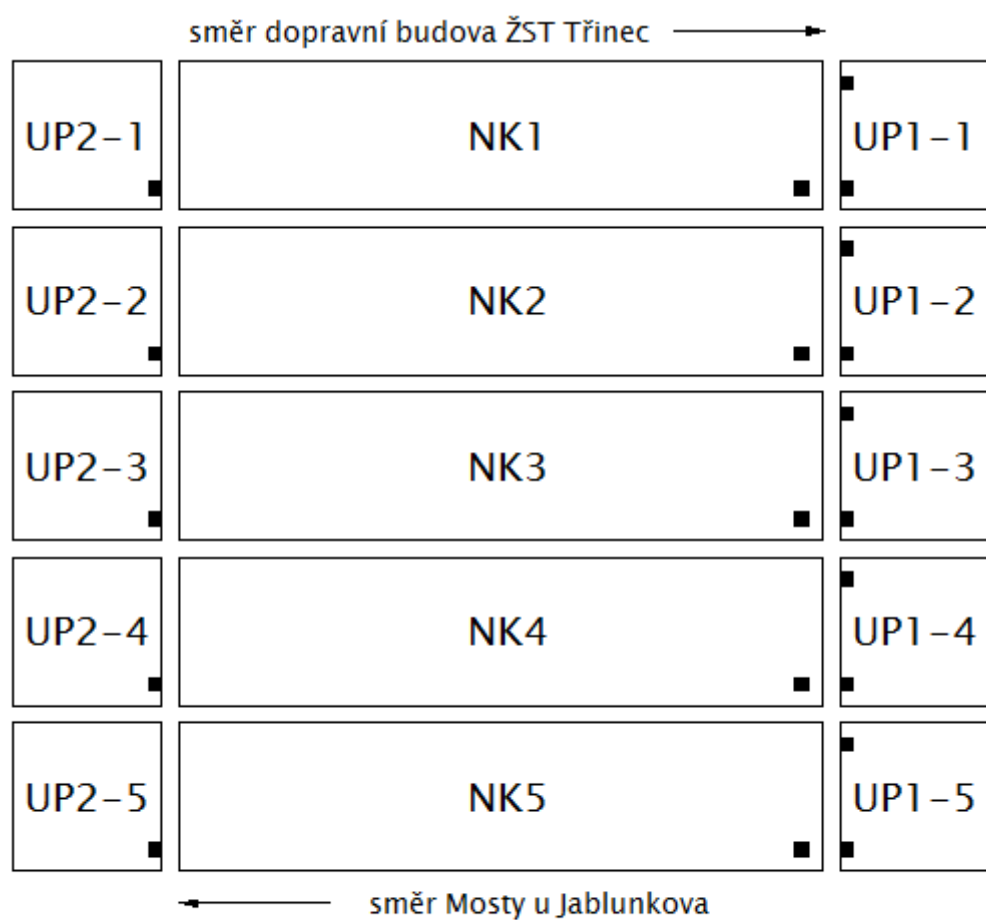
Tab. 8. Naměřené hodnoty potenciálů

Měřicí bod MB	Specifikace měřících bodů	Průměrná hodnota potenciálu (V)	Potenciál min. (V)	Potenciál max. (V)	Dovolená hodnota potenciálu (V)
MB01	NK1	-0,09	-0,29	0,26	-0,65
MB02	NK2	-0,08	-0,27	0,46	-0,65
MB03	UP1-1 (třinecká)	0,07	-0,23	0,26	-0,65
MB04	UP1-3 (třinecká)	-0,01	-0,25	0,06	-0,65
MB05	UP1-4 (třinecká)	-0,01	-0,21	0,04	-0,65
MB06	UP1-5 (třinecká)	-0,06	-0,37	0,05	-0,65
MB07	NK5	-0,15	-0,49	-0,02	-0,65
MB08	NK3	-0,06	-0,37	0,05	-0,65
MB09	NK4	-0,14	-0,49	-0,02	-0,65
MB10	Trakční kolej	-0,44	-15,6	40,2	-0,65



Obr.16. Schéma zapojení záznamníku KORODAT 5 pro měření smíšeného potenciálu





Legenda:

NK1 až NK5 = nosné konstrukce mostu

UP1-1 až UP1-5 = úložné prahy směr Třinec

UP2-1 až UP2-5 = úložné prahy směr Mosty u Jablunkova

Obr.17. Schéma mostu s rozmístěním měřících destiček (MD)

### Graf a statické vyhodnocení k MB01

Místo: MB01 – NK1 / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/21

Začátek: 22.3.2012, 9:59:32

Konec: 22.3.2012, 11:05:55

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Perioda: 0,5 s

Počet hodnot: 7955

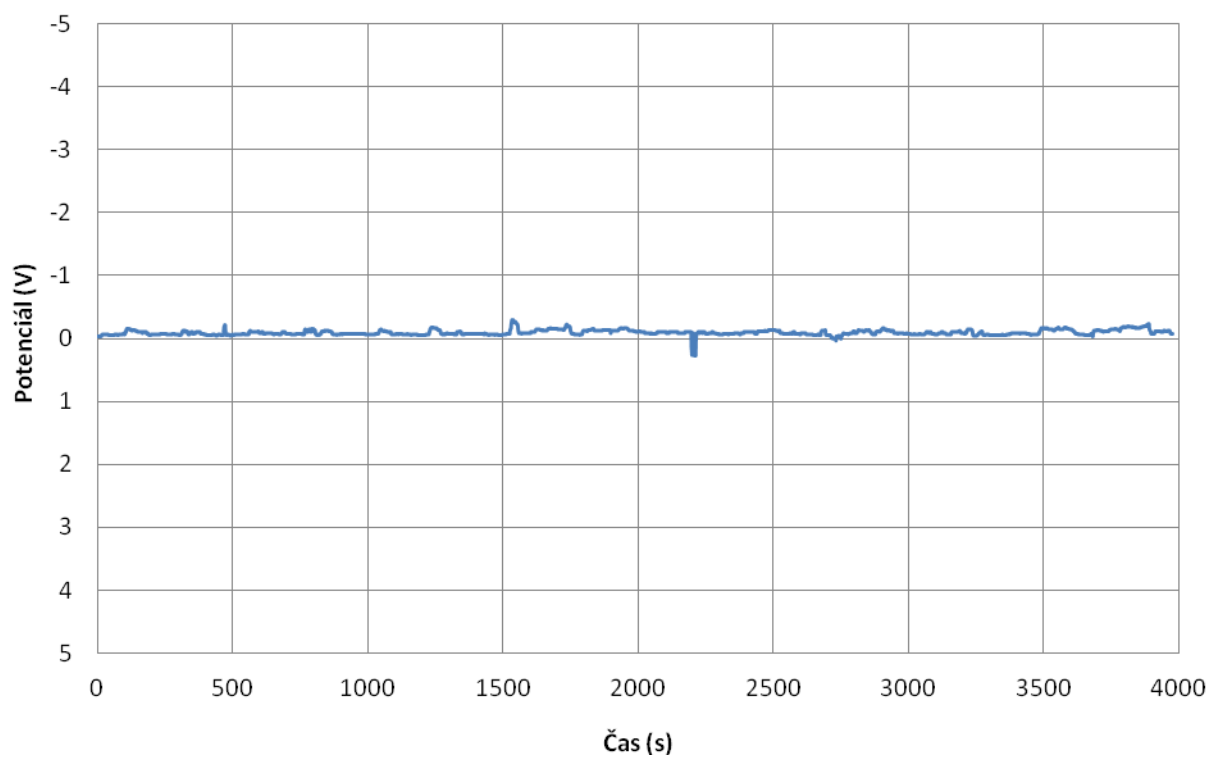
#### Statistika

Průměrná hodnota -0,09 V

Minimální hodnota -0,29 V

Maximální hodnota 0,26 V

#### Grafické znázornění



*Obr.18. Průběh potenciálu v MB01 – NK1 / referenční elektroda*

### Graf a statické vyhodnocení k MB02

Místo: MB02 – NK2 / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/22

Začátek: 22.3.2012, 9:59:32

Konec: 22.3.2012, 11:05:51

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Perioda: 0,5 s

Počet hodnot: 7959

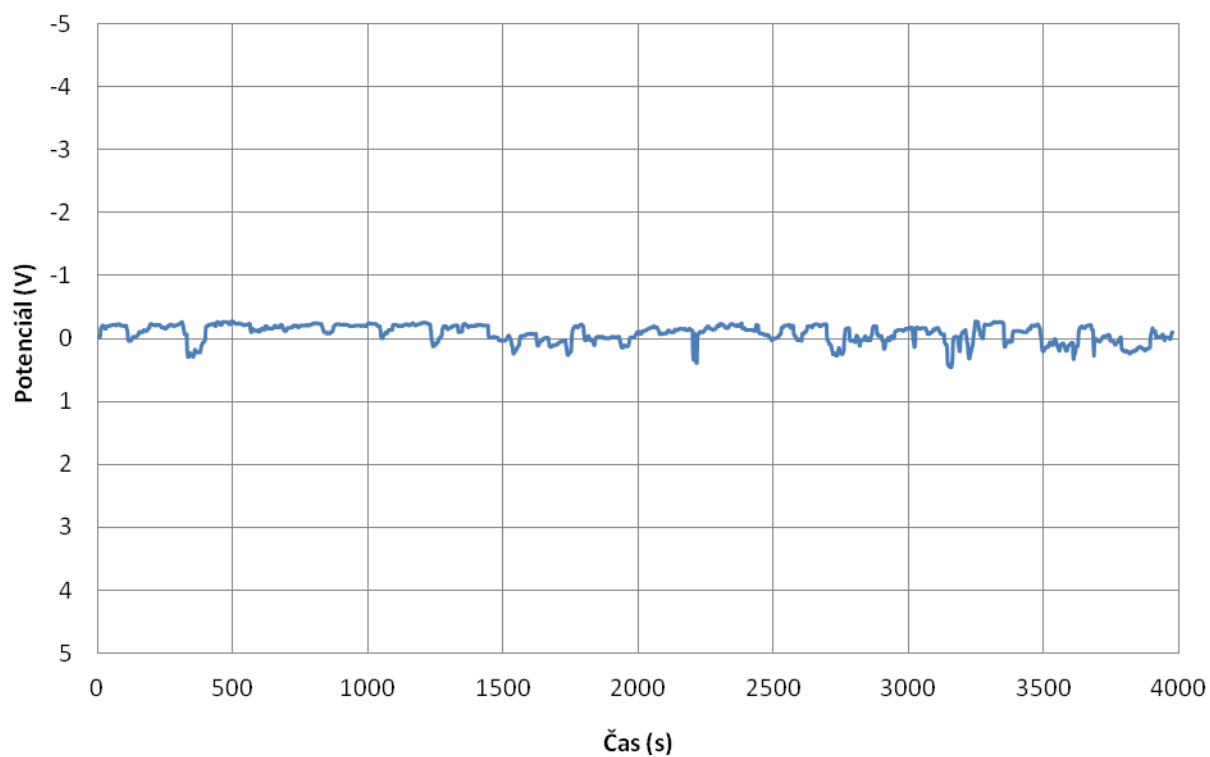
#### Statistika

Průměrná hodnota -0,08 V

Minimální hodnota -0,27 V

Maximální hodnota 0,46 V

#### Grafické znázornění



*Obr.19. Průběh potenciálu v MB02 – NK2 / referenční elektroda*

### Graf a statické vyhodnocení k MB03

Místo: MB03 – UP1-1 (třinecká) / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/23

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Začátek: 22.3.2012, 9:59:17

Perioda: 0,5 s

Konec: 22.3.2012, 11:05:48

Počet hodnot: 7983

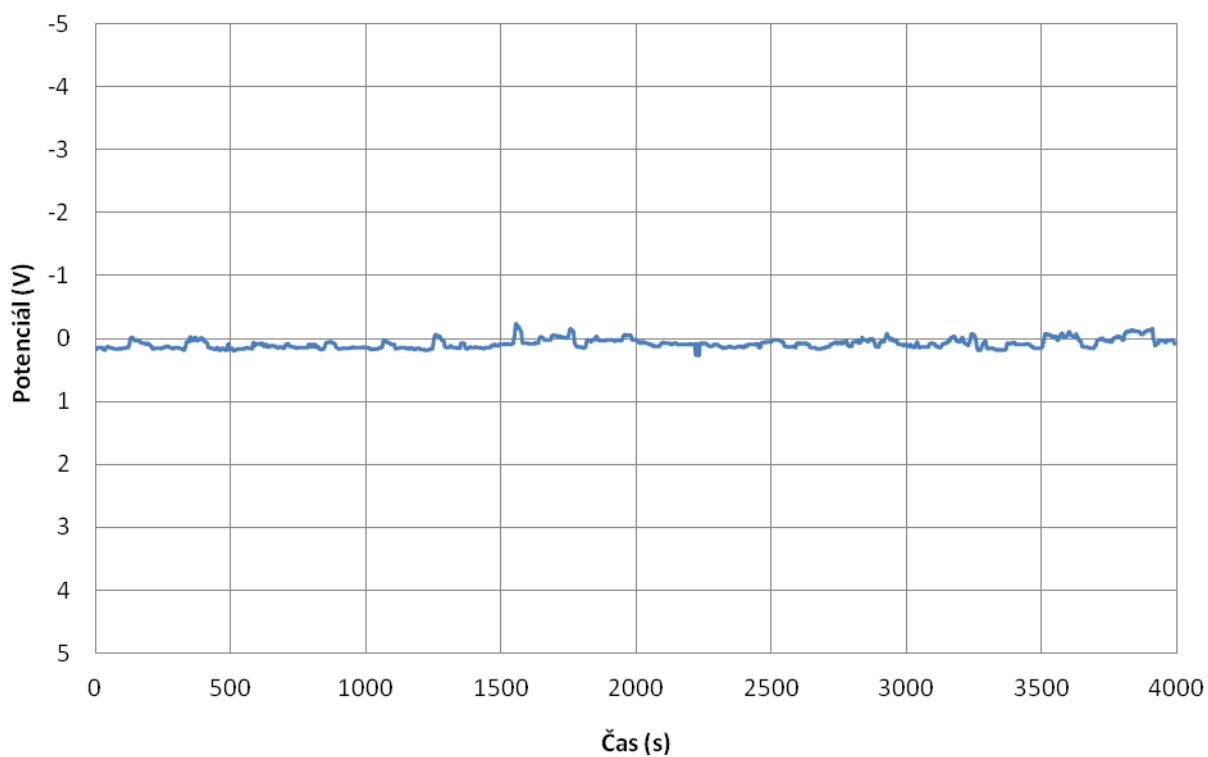
#### Statistika

Průměrná hodnota 0,07 V

Minimální hodnota -0,23 V

Maximální hodnota 0,26 V

#### Grafické znázornění



*Obr.20. Průběh potenciálu v MB03 – UP1-1 (třinecká) / referenční elektroda*

### Graf a statické vyhodnocení k MB04

Místo: MB04 – UP1-3 (třinecká) / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/24

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Začátek: 22.3.2012, 9:59:03

Perioda: 0,5 s

Konec: 22.3.2012, 11:05:44

Počet hodnot: 8002

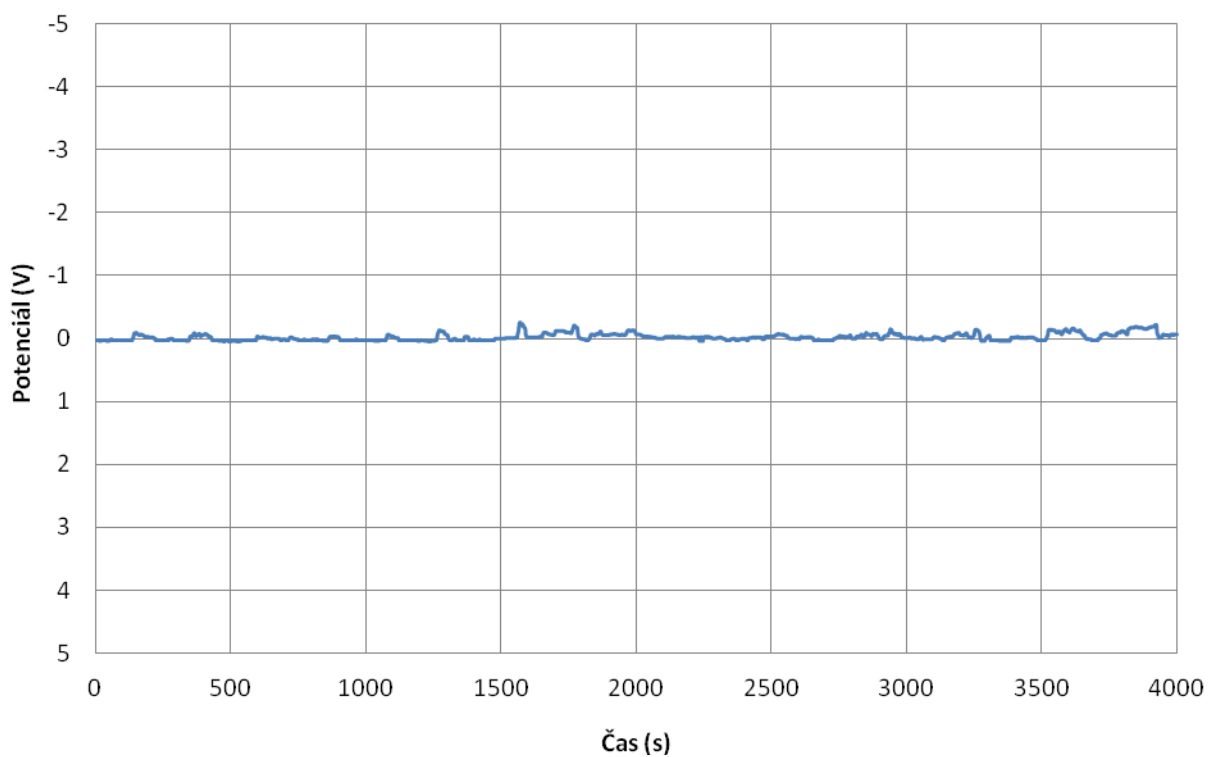
#### Statistika

Průměrná hodnota -0,01 V

Minimální hodnota -0,25 V

Maximální hodnota 0,06 V

#### Grafické znázornění



*Obr.21. Průběh potenciálu v MB04 – UP1-3 (třinecká) / referenční elektroda*

### Graf a statické vyhodnocení k MB05

Místo: MB05 – UP1-4 (třinecká) / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/25

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Začátek: 22.3.2012, 9:58:57

Perioda: 0,5 s

Konec: 22.3.2012, 11:05:40

Počet hodnot: 8006

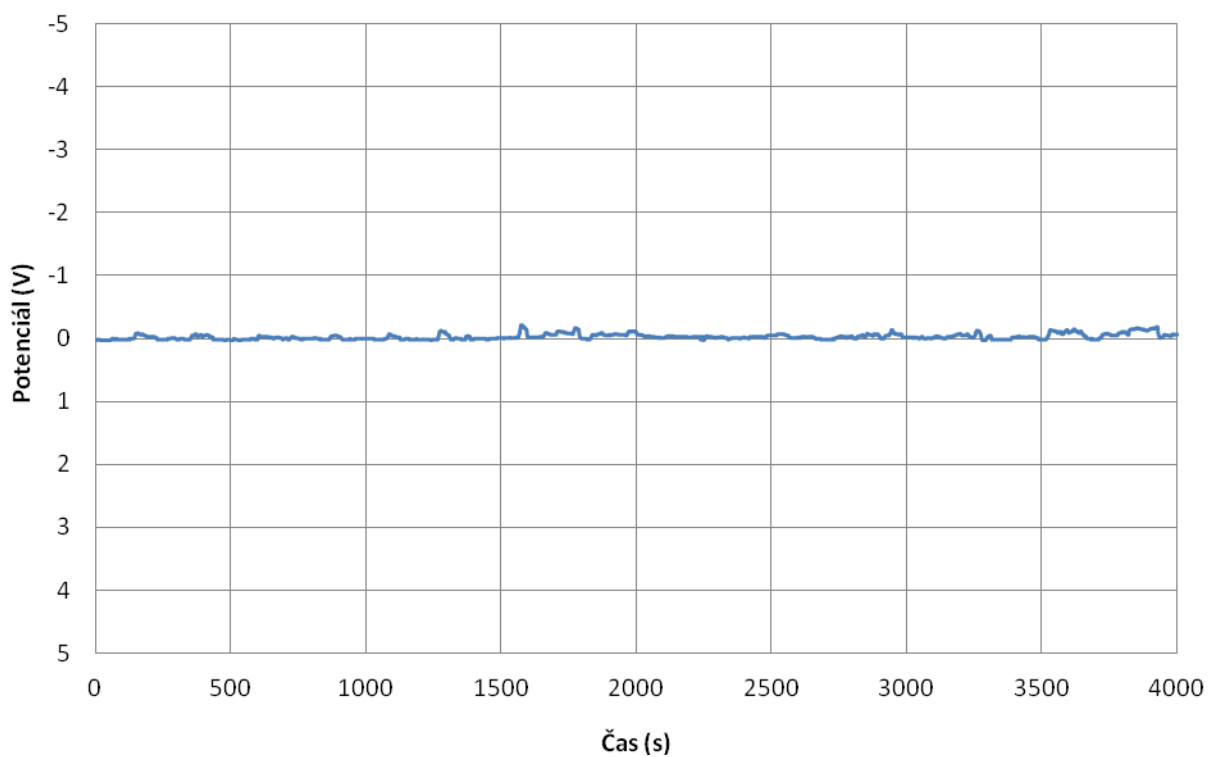
#### Statistika

Průměrná hodnota -0,01 V

Minimální hodnota -0,21 V

Maximální hodnota 0,04 V

#### Grafické znázornění



Obr.22. Průběh potenciálu v MB05 – UP1-4 (třinecká) / referenční elektroda

### Graf a statické vyhodnocení k MB06

Místo: MB06 – UP1-5 (třinecká) / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/26

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Začátek: 22.3.2012, 9:58:50

Perioda: 0,5 s

Konec: 22.3.2012, 11:05:36

Počet hodnot: 8012

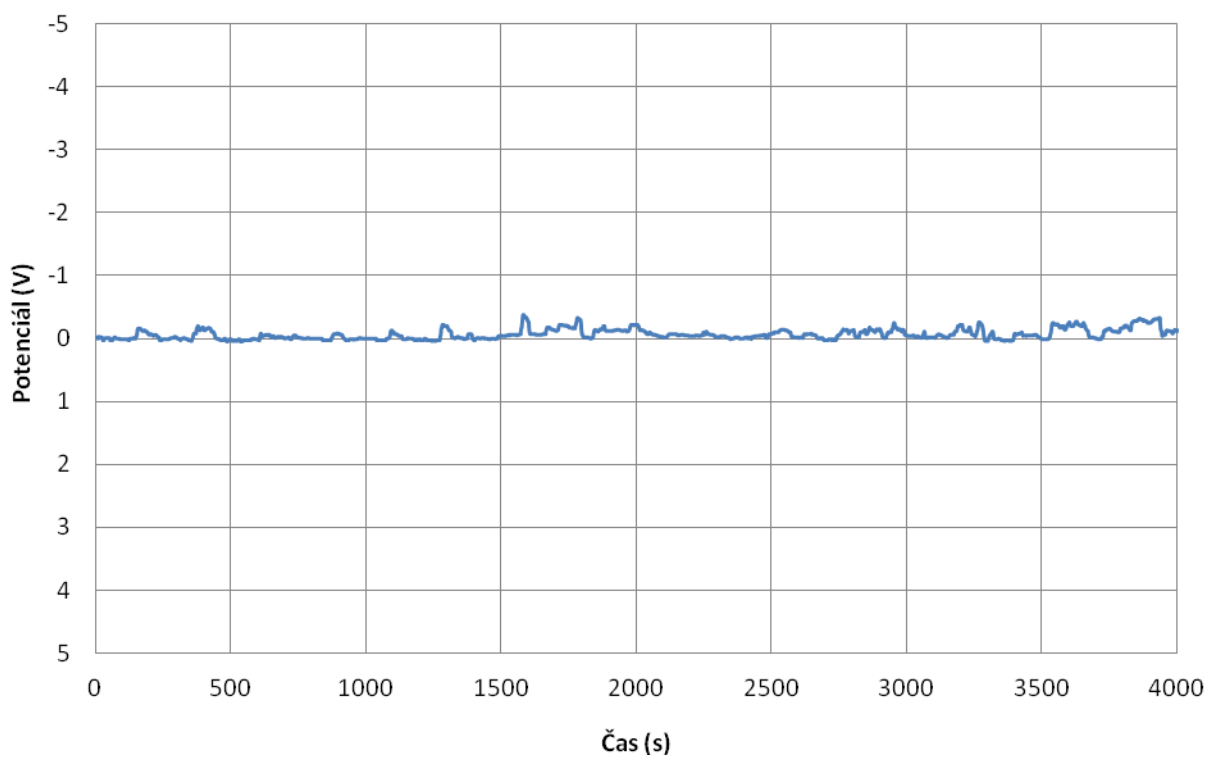
#### Statistika

Průměrná hodnota -0,06 V

Minimální hodnota -0,37 V

Maximální hodnota 0,05 V

#### Grafické znázornění



*Obr.23. Průběh potenciálu v MB06 – UP1-5 (třinecká) / referenční elektroda*

### Graf a statické vyhodnocení k MB07

Místo: MB07 – NK5 / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/3

Začátek: 22.3.2012, 9:58:45

Konec: 22.3.2012, 11:05:32

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Perioda: 0,5 s

Počet hodnot: 8015

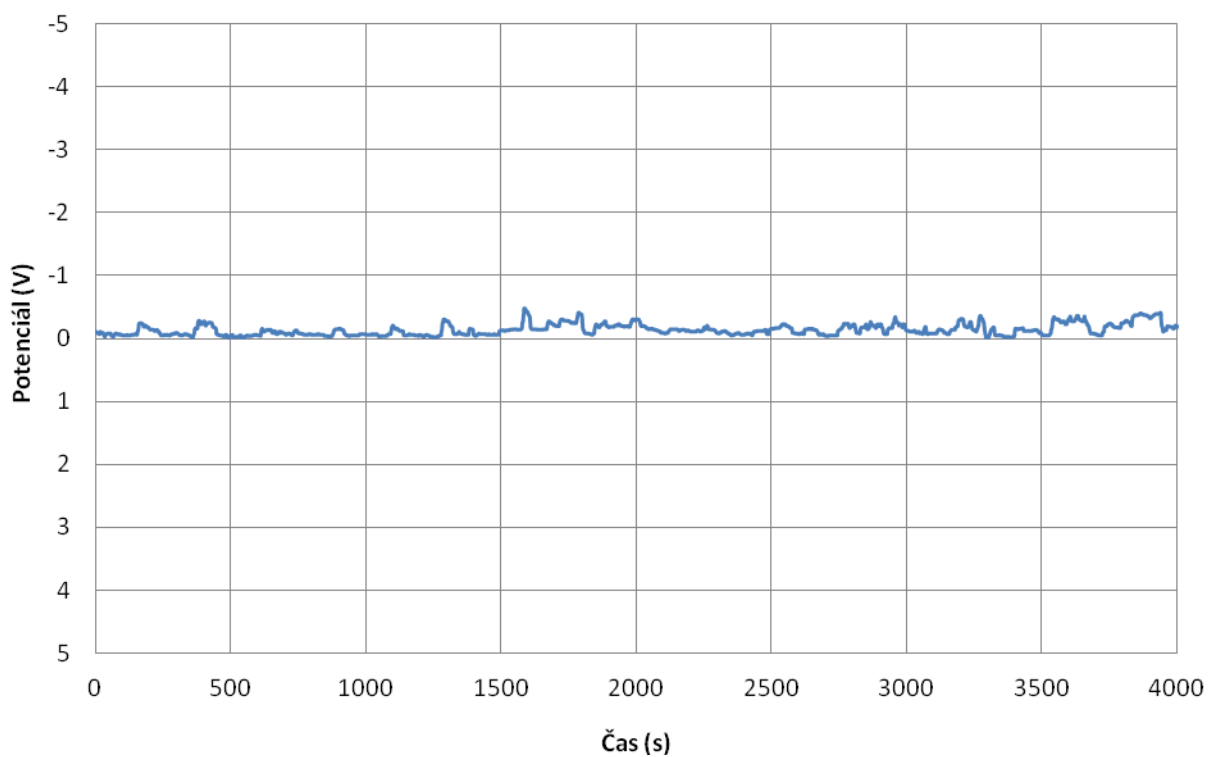
#### Statistika

Průměrná hodnota -0,15 V

Minimální hodnota -0,49 V

Maximální hodnota -0,02 V

#### Grafické znázornění



*Obr.24. Průběh potenciálu v MB07 – NK5 / referenční elektroda*



### Graf a statické vyhodnocení k MB08

Místo: MB08 – NK3 / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/10

Začátek: 22.3.2012, 9:59:02

Konec: 22.3.2012, 11:03:26

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Perioda: 0,5 s

Počet hodnot: 7729

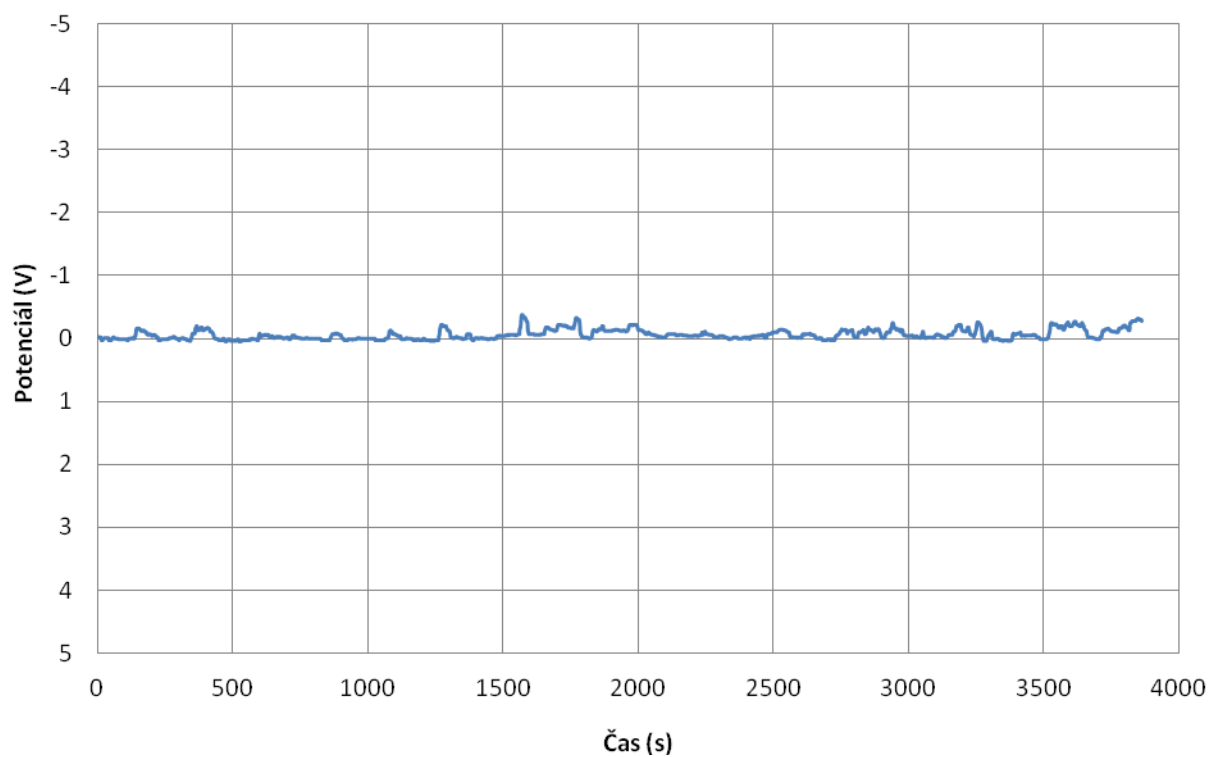
#### Statistika

Průměrná hodnota -0,06 V

Minimální hodnota -0,37 V

Maximální hodnota 0,05 V

#### Grafické znázornění



*Obr.25. Průběh potenciálu v MB08 – NK3 / referenční elektroda*

### Graf a statické vyhodnocení k MB09

Místo: MB09 – NK4 / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/12

Začátek: 22.3.2012, 9:59:08

Konec: 22.3.2012, 11:03:18

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Perioda: 0,5 s

Počet hodnot: 7701

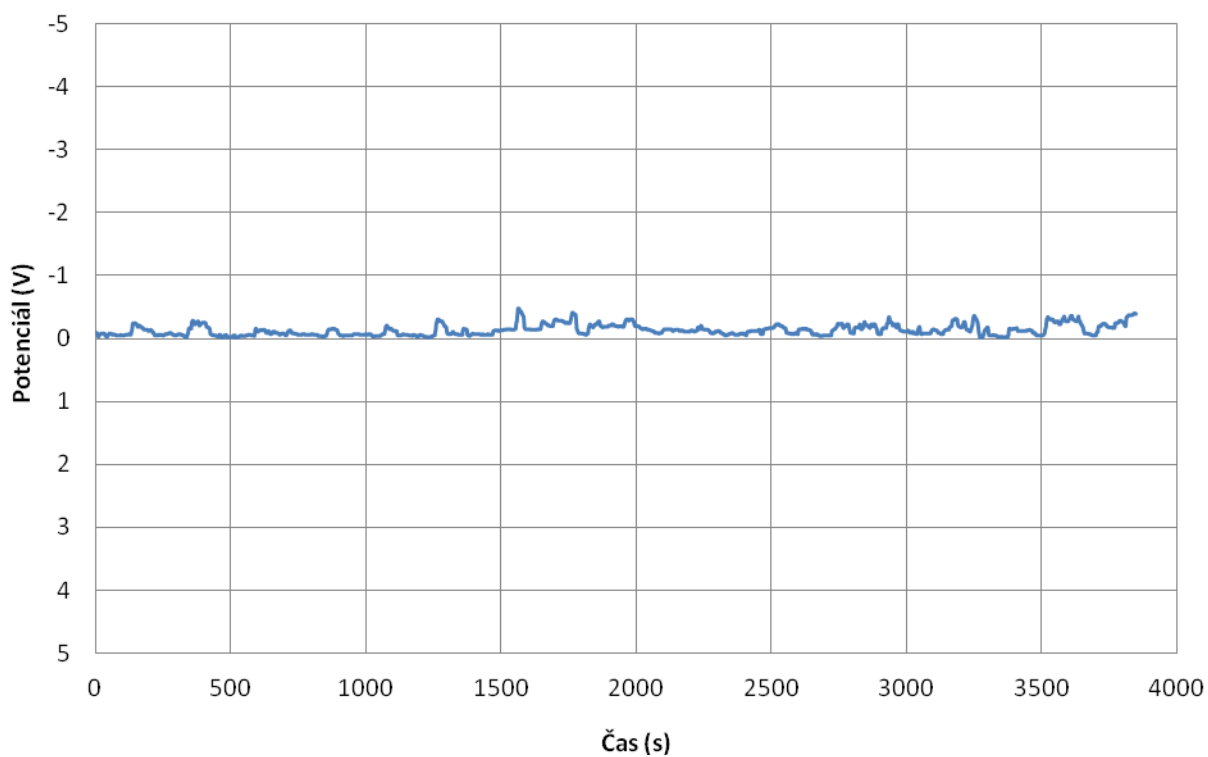
#### Statistika

Průměrná hodnota -0,14 V

Minimální hodnota -0,49 V

Maximální hodnota -0,02 V

#### Grafické znázornění



*Obr.26. Průběh potenciálu v MB09 – NK4 / referenční elektroda*

### Graf a statické vyhodnocení k MB10

Místo: MB10 – trakční kolej / referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/2

Začátek: 22.3.2012, 9:35:03

Konec: 22.3.2012, 11:07:14

Kanál: 1:12 bit,  $\pm 20,0$  V

Perioda: 0,5 s

Počet hodnot: 11062

#### Statistika

Průměrná hodnota -0,44 V

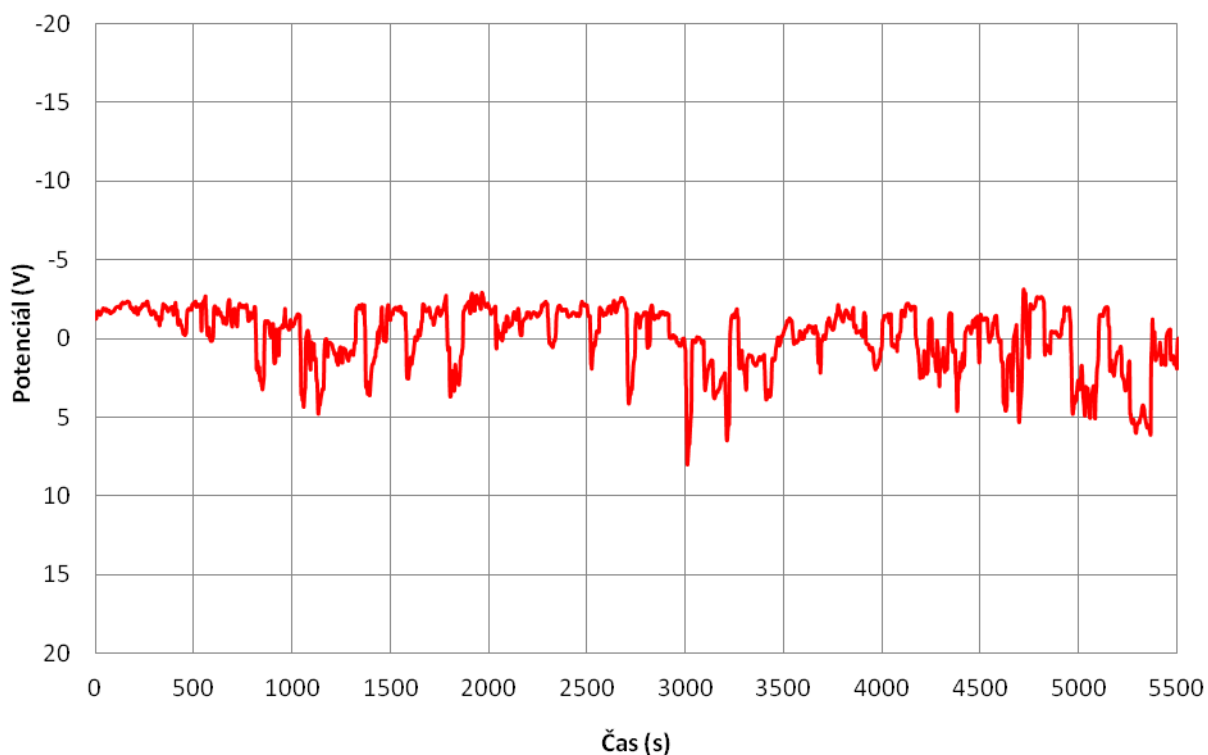
Minimální hodnota -15,6 V

Maximální hodnota 40,2 V

Záporný potenciál: 60% / -6,98V

Kladný potenciál: 40% / 9,33V

#### Grafické znázornění



Obr.27. Průběh potenciálu v MB10 – trakční kolej / referenční elektroda

## **4. Vyhodnocení měření**

### **4.1. Vyhodnocení odporových měření**

Hodnoty naměřených odporů mezi jednotlivými dilatačními celky splňují požadavky uvedené v ČD – SR 5/7 (S) a TP124.

### **4.2. Vyhodnocení potenciálových měření**

Z praxe víme, že dovolená hodnota směsného potenciálu výztuže uložené ve „zdravém“ čerstvém betonu je -0,65 V.

Z grafů a naměřených hodnot potenciálových měření je tedy zřejmé, že ocelová výztuž mostního objektu na všech měřených dilatačních celcích v době měření nebyla pod vlivem stejnosměrných bludných proudů. Naměřené hodnoty směsného potenciálu se pohybují v dovořených hodnotách.

### **4.3. Návrh ochranných opatření**

Podle základního korozního průzkumu, který byl proveden v roce 2003, je dle ČSN 03 8375 agresivita prostředí I. Velmi nízká.

Bylo nutné dodržet krytí výztužných vložek. Železobetonové části jsou opatřeny izolací proti vodě a zemní vlhkosti. Pro železobeton je použito pouze portlandských cementů. Účinné odvodnění zaspávky opěr je dalším ochranným opatřením. Nosná konstrukce je od spodní stavby oddělena izolační vrstvou plastbetonu ve žlábků pod úložným plechem.

Návrh protikorozi ochrany ocelových konstrukcí vycházel z předpisu ČD – SR 5/7 (S). Protikorozi ochrana oceli byla provedena kombinovaným ochranným povlakem, sestávajícím se z metalizace a nátěrů. Ocelové nosníky jsou opatřeny kombinovaným ochranným protikorozním povlakem skládajícím se z žárově stříkaného povlaku a ochranného nátěru. Protikorozi ochrana je provedena v celém průřezu kromě části stěn a zabetonované části ocelových nosníků.

Návrh protikorozi ochrany ostatních částí mostu (zábradlí a desky na měření bludných proudů) bude provedena podobně.

Jak už bylo uvedeno v předchozím bodě (4.2.), z průběhů a hodnot měření směsného potenciálu je patrné, že v době měření nebyl mostní objekt pod vlivem bludných proudů. Avšak mostní objekt se nachází na území s výskytem elektrizovaných trakčních soustav a průmyslové zástavby (Třinecké železářny). Z těchto důvodů je most zařazen do stupně č. 4 základních ochranných opatření.

Dle tohoto stupně základních ochranných opatření je provedena primární a sekundární ochrana mostu popsána v bodech 3.4.1. a 3.4.2. této diplomové práce a provedeno vodivé propojení výztuže konstrukce (provaření výztuže se řídí dle předpisu TP124). Po provaření výztuže se provede vyvedení výztuže na kontrolní měřící body dle předpisu ČD – SR 5/7 (S). Provaření a vyvedení výztuže je popsáno v bodě 3.4.3. této diplomové práce. Na každé části konstrukce mostu jsou osazeny kontrolní vývody (měřící destičky – celkem 20 kusů).

## Závěr

Tato diplomová práce se zabývá problematikou elektrické vozby a jejího vlivu na úložná zařízení. Cílem práce bylo nejdříve nastínit základní problematiku a v závěru rozebrat, popsat a vyhodnotit praktickou část měření, které bylo v rámci diplomové práce provedeno.

V první kapitole diplomové práce jsou rozebrány a popsány základní pojmy energetiky v dopravě, koroze, elektrochemická koroze bludnými proudy, přirozená a umělá zemní proudová pole a vliv polarity na korozi úložných zařízení.

V druhé kapitole se práce zabývá měřením protikorozi ochrany. Zde jsou popsány základy a možnosti protikorozi ochrany, kam spadají korozně odolné materiály, ochranné povlaky, možnosti omezení vzniku bludných proudů atd. Dále jsou v této kapitole popsány používané protikorozi ochrany, které se dělí na aktivní a pasivní. V neposlední řadě jsou do této kapitoly zahrnuty také různé druhy drenáží, katodická ochrana úložnou anodou a ochrana obětní anodou. Posledními body této kapitoly jsou metody, které se používají pro měření protikorozi ochrany. Jendou z metod je měření zdánlivého měrného odporu půdy pomocí Wennerovy metody, která umožňuje rychlé stanovení agresivity korozního prostředí. Druhou metodou je měření intenzity, kde pomocí nepolarizovatelných elektrod  $\text{Cu-CuSO}_4$  a registračních voltmetrů změříme intenzitu zemního proudového pole a podle hodnoty určíme, zda jde o slabou, střední, nebo silnou intenzitu. Pomocí hodnot měrného odporu půdy a intenzity proudového pole se následně vypočte proudová hustota zemních proudových polí a zařadí se do příslušného korozního prostředí a třídy koroze.

Třetím bodem této diplomové práce bylo měření ve vybrané lokalitě. Konkrétně šlo o měření na železničním mostě po rekonstrukci v ŽST Třinec. Proto jsou nejdříve v kapitole popsány základy týkající se mostních objektů, jako jsou vlivy bludných proudů na mostní objekty, postupy při zjišťování ochrany pro omezení účinků bludných proudů, podrobný a základní korozní průzkum, dále opatření, která jsou zapotřebí v průběhu projektových prací, kontrolní měření v průběhu stavby a měření závěrečná po dokončení stavby mostního objektu. Poté následuje část, ve které jsou popsána opatření vedoucí ke snížení účinků bludných proudů na mostní objekty, kam patří základní pasivní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty, jako jsou primární a sekundární ochrana a konstrukční opatření. Po vysvětlení těchto základních informací týkajících se mostních objektů, je možné přikročit k vlastnímu měření.

Problematikou měření, jak už zde bylo uvedeno, byl železniční most v ŽST Třinec přes řeku Lištnici. Most je po rekonstrukci a v rámci rekonstrukce u něj bylo provedeno provaření a vyvedení výztuže na kontrolní měřící body pro měření zemního proudového pole podle základního ochranného opatření stupně č. 4. Z měření směsných potenciálů je viditelné, že most nebyl v době měření pod vlivem bludných proudů, ale z důvodů umístění mostu na území s výskytem elektrizovaných trakčních soustav a průmyslové zástavby (Třinecké železářny) je most zařazen do stupně č. 4 základních ochranných opatření.

V dnešní době se při výstavbách a rekonstrukcích tratí mění elektrické parametry železničního svršku. Dochází k tomu používáním nových postupů, mezi které patří například ukojňování

přes průrazky s opakovatelnou funkcí, odizolování kolejí od pražců atd. Důsledkem toho dochází ke zvýšení přechodových odporů až na hodnotu kolem 100  $\Omega$ .km, zatímco před rekonstrukcí se hodnota pohybovaly kolem 1  $\Omega$ .km. Takto zvýšená hodnota přechodového odporu snižuje velikost bludných proudů a tím nedochází k působení elektrochemické koroze na úložná zařízení, mosty, stožáry apod.

## Seznam použité literatury

- [1] PALEČEK, J. *Elektroenergetika v dopravě*, přednášky z předmětu, Ostrava.
- [2] Železniční napájecí soustava. Dostupné z WWW:  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční\\_napájecí\\_soustava](http://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční_napájecí_soustava)> [cit. 2012-13-1]
- [3] Koroze úložných zařízení. Dostupné z WWW:  
<[http://www.mero.cz/files/koroze\\_text.pdf](http://www.mero.cz/files/koroze_text.pdf)> [cit. 2012-26-1]
- [4] KOUDELKA, C. *Bludné proudy*, Ostrava, 2003. Dostupné z WWW:  
< [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne\\_proudy.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne_proudy.pdf) > [cit. 2012-27-1]
- [5] PALEČEK, J. *Vybrané kapitoly z problematiky elektrotechniky v dopravním inženýrství*, VŠB-TUO, Ostrava 1996
- [6] *Koroze úložných zařízení 95, sborník Košice 28.-29.6.1995*
- [7] MÍČKO, F. *Měření proudových polí*, SELPO Ostrava konference Rožnov pod Radhoštěm 1999
- [8] PALEČEK, J. a kol.: *Elektrotechnika v dopravním inženýrství, závěrečná zpráva k obhajobě grantu FR VŠ 0897/1996*
- [9] BARTONÍČEK, R. a kol. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*, Academia, Praha, 1966, ISBN 21-037-66. 719 stran.
- [10] ČSN EN 50122-2: *Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Část 2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami*, 2001.
- [11] POLÁK, J. *Katodická protikorozní ochrana a způsoby snižování koroze bludnými proudy*, Chemoprojekt Praha, 1992, 614 stran.
- [12] VIKTORIN, J. *Vlivy elektrických trakčních systémů na sdělovací a zabezpečovací zařízení*, Praha, 1971, OD-31-023-71, 232 stran.
- [13] ČSN 03 8350: *Požadavky na protikorozní ochranu úložných zařízení*, 1996.



- [14] LANÍČEK I., MATOUŠ J., ČERNOHORSKÝ K., *Vědeckotechnický sborník ČD – číslo3: Ochrana úložných zařízení před negativními účinky bludných proudů*, 1997
- [15] ČD-SR 5/7 (S) *Služební rukověť - Ochrana železničních mostních objektů proti účinkům bludných proudů*, 1997
- [16] TP124 - *Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací*, JEKU s.r.o., Praha, 2008